ISSN　0919-6676
CODEN：SFHPFE

試 験 研 究 報 告

平成２４年度

平成２４年度福島県ハイテクプラザ試験研究報告

目　　次

○技術開発業務

成長産業基盤技術高度化支援事業

１　マルチスケールＣＡＥによる製品開発手法の確立・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・６
技術開発部工業材料科　工藤弘行

２　ＣＦＲＰの穴加工における工具・加工条件の検討（第２報）・・・・・・・・・・・・・・・１０
技術開発部生産・加工科　夏井憲司　吉田 智　斎藤俊郎

３　ＦＰＧＡを用いた制御システムの開発・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１７
技術開発部生産・加工科　高樋　昌　吉田英一

ハイテクプラザ放射線研究開発事業

１　軽くて使い易い放射線遮蔽材料の開発

(1)　放射線遮蔽製品の開発・・・２０
いわき技術支援センター機械・材料科　吉田正尚　佐藤善久

(2)　線量率による表面汚染測定と遮蔽の評価・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・２４
いわき技術支援センター機械・材料科　佐藤善久　吉田正尚

(3)　陶器瓦破砕物を用いた遮蔽による空間線量率の低減・・・・・・・・・・・・・・・・・・・２８
技術開発部工業材料科　宇津木隆宏　伊藤弘康

２　放射性セシウムの除染（物理的、化学的手法による分離・濃縮）方法の開発・・・３０
技術開発部工業材料科　杉内重夫　伊藤弘康
技術開発部プロジェクト研究科　加藤和裕　西村将志

再生可能エネルギー関連産業創出プロジェクト事業

１　浅部地中熱利用システムの開発・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・３４
技術開発部工業材料科　五十嵐雄大　小柴佳子
技術開発部生産・加工科　平山和弘　吉田英一
日本大学工学部　伊藤耕祐
有限会社住環境設計室　影山千秋

産業廃棄物減量化・再資源化技術支援事業

１　石炭灰の再生利用促進・・・３８
技術開発部工業材料科　光井 啓　鈴木雅千　小柴佳子
相馬環境サービス株式会社　熊谷祐一　管野 栄

２　電解加工廃液の再利用化技術の検討・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・４１
技術開発部工業材料科　中山誠一　杉内重夫　矢内誠人

いのちを守ろう！農作業安全対策推進事業

１　簡易型転落・転倒警報装置の開発・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・４５
技術開発部生産・加工科　高樋 昌　有賀真一

受託研究事業

１　材料科学的なアプローチによる厚板鍛造の高度シミュレーション技術の確立・・・４８
（経済産業省 戦略的基盤技術高度化支援事業）
技術開発部工業材料科　工藤弘行　五十嵐雄大　栗花信介
林精器製造株式会社　大沼 孝　遠藤一成　佐藤幸伸 他
茨城大学　鈴木徹也　永野隆敏　岩瀬謙二

２　太径締結部品のミクロ加工制御技術の確立・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・５２
（経済産業省　戦略的基盤技術高度化支援事業）
技術開発部工業材料科　工藤弘行　光井 啓　五十嵐雄大　伊藤弘康　小柴佳子　栗花信介
東北ネヂ製造株式会社　関口龍一郎　江幡卓典 他
茨城大学　鈴木徹也　永野隆敏

３　スマートフォンを活用した道路状況センシングとその局所的情報交換のための車車間通信の研究開発（第２報）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・５６
（総務省 戦略的情報通信研究開発推進制度）
技術開発部生産・加工科　濱尾和秀　高樋 昌
福島コンピューターシステム株式会社　石川泰弘　橋本健一　本多 悟　本多裕幸　鈴木 豊　本間政広　石山修司
いわき明星大学　櫻井俊明

４　水溶性チタン酸バリウム前駆体を用いた高性能ＰＴＣサーミスタ用原料の開発・・・・６１
（独立行政法人科学技術振興機構 復興促進プログラムＡ－ＳＴＥＰ探索タイプ）
技術開発部工業材料科　宇津木隆宏
山形大学工学部　松嶋雄太

５　ＬＮＧタンク内巨大構造物への疲労強度設計・強度保証技術の適用・・・・・・６４
（独立行政法人科学技術振興機構 復興促進プログラムマッチング促進可能性調査）
技術開発部工業材料科　工藤弘行　伊藤弘康
ムサシノ機器株式会社　杉山直樹　木村直樹

６　生体分子のセンシングデバイスへ応用可能なマイクロ流路用金型の作製技術開発・・６８
（独立行政法人科学技術振興機構 復興促進プログラムマッチング促進タイプⅡ）
技術開発部生産・加工科　安齋弘樹　市川俊基
技術開発部工業材料科　宇津木隆宏
株式会社エム・ティ・アイ　元井泰二郎　元井広樹　齊藤伸寿　志賀直子
独立行政法人産業技術総合研究所　鳥村政基　黒澤 茂　丹羽 修　栗田僚二　加藤 大

７　有色光重合性含漆共重合精製物を応用した製品開発とその耐久性について・・・・・・・７１
（三光ライト工業株式会社 受託研究）
会津若松技術支援センター産業工芸科　須藤靖典　出羽重遠
三光ライト工業株式会社中原工場　酒寄治樹　熊谷有通　滝本明夫
三光ライト工業株式会社埼玉工場　大和 修

８　ＬＰＳ計測のための微小流路基板及び電気化学セルの開発・・・・・・・・・・・・・・・・７６
（独立行政法人産業技術総合研究所 受託研究）
技術開発部生産・加工科　安齋弘樹　市川俊基
技術開発部工業材料科　宇津木隆宏
独立行政法人産業技術総合研究所　加藤　大

共同研究事業

１　ネットワークオンチップ構成における高位合成に関する研究・・・・・・・・・・・・・７９
（会津大学 戦略的創造研究推進事業チーム型研究）
技術開発部生産・加工科　吉田英一
会津大学　齋藤 寛　方波見英基　宮囿 悟
木村裕彦

２　座標測定機のトレーサビリティー維持に関する研究・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・８１
（独立行政法人産業技術総合研究所 東北復興支援事業）
技術開発部生産・加工科　吉田 智　斎藤俊郎
独立行政法人産業技術総合研究所幾何標準研究室

科学技術調整会議共同研究事業

１　農地の放射性物質除染方法の開発・生物的手法からの取り組み・・・・・・・・・・・８５
技術開発部プロジェクト研究科　鈴木英二

○企業支援業務

がんばれ福島！産業復興・復旧支援事業

ものづくり復興支援事業（技術開発）

１　風評被害に伴う漆器の高品質化への改良研究・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・８９
会津若松技術支援センター産業工芸科　須藤靖典

２　低塩で日持ちの良い塩麹の開発・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・９３
会津若松技術支援センター醸造・食品科　中島奈津子　大島健司　小野和広
石橋糀屋　石橋恒男

３　県産材を用いたインテリア製品の開発・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・９７
会津若松技術支援センター産業工芸科　遠藤知里　橋本春夫　宇野秀隆
福島県郡山地区木工工業団地協同組合

４　会津桐突板による高級壁紙技術を応用した新たな用途開発・・・・・・・・・・・・・１００
会津若松技術支援センター産業工芸科　遠藤知里　橋本春夫　宇野秀隆
株式会社松竹工芸社　小針悦也

5　若年齢層に提案できる漆器製品の開発‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥１０４
会津若松技術支援センター産業工芸科　　須藤靖典

6　小径・深穴部分のバリ取り技術の開発‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥１０６
いわき技術支援センター機械・材料科　　緑川祐二
林精器製造株式会社　　和田 泉　小林春之　佐藤幸伸

7　米麹甘味料の結晶化抑制に関する研究‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥１０８
会津若松技術支援センター醸造・食品科　中島奈津子　大島健司　小野和広
有限会社仁井田本家　　仁井田穏彦

8　レーザー加工機によるゴム印蒔絵技術の確立‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥１１２
会津若松技術支援センター産業工芸科　　出羽重遠　須藤靖典

○その他の業務

ハイテクプラザ基盤技術活用事例

1　地域伝統芸能大賞記念メダル製作‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥１１４
会津若松技術支援センター産業工芸科　　出羽重遠　須藤靖典　宇野秀隆
蒔絵工房ほんだ　漆工房佐藤　林精器製造株式会社　株式会社原山織物工場
株式会社クラフト夢現　株式会社関美工堂

2　「ふくしまから はじめよう。」バックパネル製作‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥１１７
会津若松技術支援センター産業工芸科　　出羽重遠　須藤靖典

用語解説（本文下線）‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥１１９

マルチスケールCAEによる製品開発手法の確立

Establishment of the Product Development Technique by Multi-Scale Simulation

技術開発部工業材料科　工藤弘行

複雑な現象を効率良くシミュレーションすることが期待できるマルチスケールCAE技術に関連する要素技術を調査し、要素技術マップの作成、県内企業への適用可能性の高い連携手法の絞り込み、分野毎の利用提案を行った。また、不足する要素技術である微小部強度試験ならびに多結晶モデルの弾塑性有限要素解析を実施し有効性を確認した。

Key　words:CAE、マルチスケール

１．緒言

過去数十年、コンピュータ・シミュレーション技術は急速で継続的な発展を遂げ、学術分野ではシミュレーションによる仮想実験から真理探究を行う手法も一般的になるなど、実験科学、理論科学に並び、シミュレーション科学として「第3の科学」の地位を確立している。産業分野においても、コンピュータ技術を用いて、ものづくりを効率化を狙うCAD/CAM/CAEなどコンピュータ援用技術が普及して十数年が経ち、近年では、X線CT装置や非接触形状測定器においてもCADデータを出力する新たな利用が提案されたり、「京」などスパコンの産業利用やクラウド技術の利用など環境面も整備され、その活用はこれまでと異なる局面を迎えている。

この分野で近い将来、活用が期待される技術として「マルチスケールCAE」技術が挙げられる。マルチスケールCAEは複数のスケールのCAEを連携する、あるいは、シミュレーション技術を中心に複数のスケールの情報を連携させる技術であり、複雑な現象を効率良く解析することが期待されている。この技術は単一技術を指すのではなく、様々な要素技術を適切に結び付け、課題解決に最適となる組合わせ「ベストミックス」を見出す横断的、総合的な技術である。

マルチスケールCAEは、構造体への応用に関しては、船舶分野などで比較的古くから利用されているが、近年、注目度が高まっているのは、材料科学分野におけるミクロ構造への適用である。これは、近年、中性子回折やEBSDなど分析技術の向上や、フェーズフィールド法、結晶塑性解析、均質化法などシミュレーション技術の進歩、コンピュータの計算能力の向上により、ナノ、ミクロレベルの挙動・特性がマクロ的な特性に密接にかかわる状況を、より定量的に把握できる報告が多数なされ、実用化の兆しが見えつつあるためである。

しかし、現時点では、マルチスケールCAE技術は学術的な応用に限定されており、実際のものづくりに活用するには、まだまだ解決するべき課題が多い。例えば、関連技術は先進的な技術が多く専門性が高いため、各要素技術に精通し有効な組み合わせを見出す横断的な技術を持つ人材が不足していることや、技術を必要とする企業と技術を保有する技術者の接する場がないことなどが課題として挙げられる。

以上の課題解決のため、本研究ではマルチスケールCAE技術を製品開発に活用することを最終目標とし、重要な要素技術の選定や連携手法の提案や不足する要素技術の試行など共通的な基盤技術の確立を行う。いち早くマルチスケールCAE技術を県内企業に技術移転するため、ハイテクプラザが運営する新素材利用技術研究会の活動と一体の研究として実施する。研究の実施年度は平成24年度から平成25年度である。

２．試験方法および評価手法

２．１．要素技術の調査、連携手法の絞り込み

専門技術の情報収集を通じて、材料科学分野でマルチスケールCAE技術に関連する要素技術マップを作成した。次に、協力を得られた企業からのヒアリングを基に各要素技術の連携手法について検討を行い、県内企業への適用可能性の高い手法を絞り込んだ。さらに、企業への技術移転を促進するために、製品分野ごとの提案を検討した。

２．２．微小部強度試験

標準的な寸法より小さい部位を対象とする微小部強度試験として、鋳造製品から採取した板材に対する3点曲げ試験を行った。3点曲げ試験は、通常実施される引張試験と異なり、強度、0.2%耐力、伸びの算出ができない。本研究ではCAE弾塑性解析やひずみ測定を組み合わせることにより、強度、耐力、伸びの算出する手法を検討した。

２．３．多結晶・ボイドモデルとFCDモデル

塑性加工CAEはマクロスケールを対象とするため、ミクロ組織情報を反映する手法として中間スケールの材料モデリングを利用する。具体的には、結晶粒やボイドなどのミクロ構造を直接、有限要素モデルとする手法が実現性が高く、本研究では、多結晶モデル、ボイドモデルの利用方法について検討を行った。

多結晶モデルについては、図1に示す「粒界強化モ

デル」の利用を提案する。このモデルでは、粒界近傍(図中赤)を、転位運動が制限を受ける領域、強化に寄与する領域として考え、粒内(図中青)と異なる材料特性を与える。実際の結晶粒界は数原子程度のスケールに対し、この解析モデルでは um オーダーのスケールとして扱うのが特徴である。

ボイドモデルは材料中に有限の大きさのボイドを仮定するモデルで、塑性加工における延性破壊や初めからボイドなどの欠陥が存在する鋳造材やポーラス材に適用できる。本研究では、延性破壊では介在物周辺でボイド発生が優先することを踏まえ、図 2 に示す「介在物-ボイドモデル」を提案する。

本報告では、FCD 材の球状黒鉛周辺の構造に対する解析例を記載する。対象とするのは FCD600 前後の特性でフェライトとパーライトが混在し、球状黒鉛の周辺をフェライト組織が取り囲むブルズアイ組織である。フェライト、パーライトは 150HV、250HV の硬さの組織と仮定し、既知の HV と耐力の関係から、それぞれの相の耐力を 400、750MPa として計算を行った。黒鉛は弾性率を 10GPa、強度を 20MPa と仮定し、加工硬化しない挙動を仮定した。

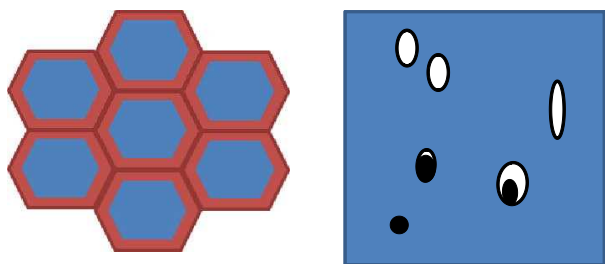



図1 粒界強化多結晶体モデル 図2 介在物・ボイドモデル

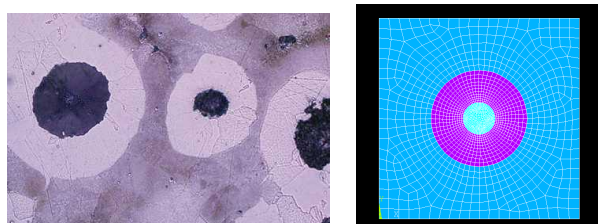



図3 FCD組織写真 図4 FCDモデル

３．試験結果と考察

３．１．要素技術マップの作成

図 5 に要素技術マップを示す。横軸にスケール軸、縦軸にベースとなる手法の分類を取り、各要素技術を該当する位置にプロットした。スケール軸は、科学技術一般に、現象をどのような寸法(スケール)で捉えるかが重要となることから選択した。手法軸は、シミュレーション科学との表現に着目し、実験科学、理論科学、シミュレーション科学の 3 手法の内、ツールとして重要な実験ベースとシミュレーションベースを選択した。実験ベースに関しては、重要度の高いイメージベースの技術を区別して配置した。

シミュレーション技術の中で特に重要な要素技術は以下の 6 つである。その他の要素技術の説明については、紙面の都合上割愛する。

① 有限要素法(FEM)：物体を要素に分割することに特徴のある計算手法で最も広く利用されている。主にマクロスケールを対象範囲とする。他の手法との連携の自由度が高いことが特徴である。
② 均質化法：FEM 関連技術で、不均質な構造の特性を平均化し均質体としての特性を算出する手法。FRP など複合材料分野で実績がある。
③ 結晶塑性 FEM： FEM の応用技術で、変形の自由度を結晶構造のすべり系方向に制限することで、結晶方位の影響を考慮できる。
④ 分子動力学：多数の分子に対し個別に運動方程式を解くことで、全体としての挙動の特徴をつかむ手法。ナノレベルで実績が多いが、スケールアップの限界があることが課題となっている。
⑤ フェーズ・フィールド法：連続体中の各座標における相の状態(液相や固相など)を場の変数(例えば 0~1)として表現し、エネルギー最小化の条件から時刻経過に伴う組織形成を予測する手法。中間スケールの現象を直接計算することができることで①有限要素法と④分子動力学をつなぐ存在として注目を浴びている。
⑥ 計算状態図関連技術：熱力学データベースと格子モデルによる自由エネルギー計算により、数値計算の助けを借りて、状態図を効率化する技術で、近年では物性値や熱処理特性を計算するなどの応用も広がっている。ものづくり的観点では、元素組成の影響を定量的に予測できる点が利用価値が高いと見られる。

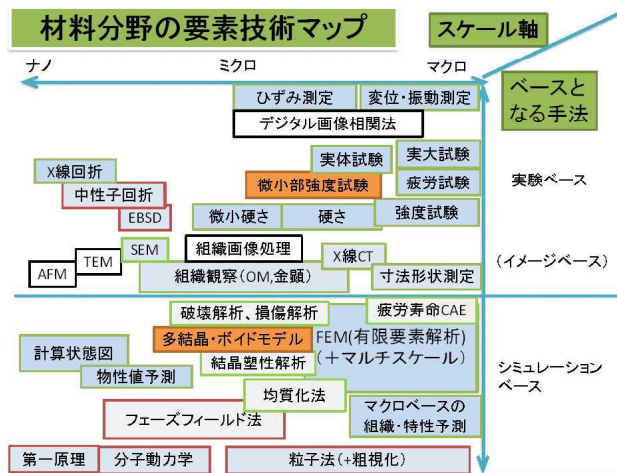



図5 要素技術マップ

３．２．連携手法の絞り込み、分野別の提案

要素技術を有効に結びつける連携手法を検討し、県内企業への適用可能性の高いものとして、以下の 6 つの手法を絞り込んだ。

① 鋳造品・樹脂成形品の実体強度、実荷重負荷に基づく信頼性評価：部位により組織・強度の異なる製品の特定部位から採取した微小試験片の強度評価・組織観察と、実使用時の負荷の比較に基づき、製品全体としての信頼性を評価する。

② イメージベース手法によるモデル化技術：X 線 CT や金属組織観察で得られた実在の材料組織・製品構造や、代表的な仮想構造を CAD モデル化して解析する。

③ 溶接部等弱点部位の疲労解析、破壊解析：複雑形状を持つ製品の弱点となる溶接部等に対し、詳細なモデルで正確な強度特性、破壊特性を評価する。

④ 均質化法によるマクロ材料特性値推定：特定の周期構造や微視構造を持つ部材と等価な材料特性値を推定する。

⑤ マクロスケール CAE による材料組織形成予測、強度特性予測技術：マクロ CAE の応力、温度履歴を元に、塑性加工や熱処理により得られるミクロスケールの材料組織や強度特性を予測する。

⑥ FRP、射出成形品のミクロスケール解析：マクロスケール CAE の応力・ひずみを FRP 等の微視構造へ適用し、損傷・破壊を予測する。

次に、分野別の提案として、鋳造、射出成型、FRP、鍛造、熱処理、金属プレス、溶接、電子部品、巨大構造物などについて課題点を抽出し、適用できる要素技術や連携手法を検討した。一例として、図 6 に鋳造製品を取り挙げる。鋳造製品は、本質的に強度、じん性が低めであり、強度面での弱点が用途を広げる障壁となっている。技術課題は以下の 4 点で、解決策になり得る要素技術、連携手法を記載する。

(1) 鋳造製品は部位ごとに冷却速度が異なり、それに伴い組織、強度も部位ごとに分布的に変化しているため、製品としての強度保証が困難である。

(解決案) 鋳物製品は、JIS では別鋳込み試験片の試験が指定されるなど、実製品とは異なる状態での評価を行っている点が問題である。よって、実製品と同じ組織特性を持つ実大試験、あるいは実製品の一部から採取した実体試験が望まれる。小型製品の場合、引張試験が困難となるため、微小部強度試験が必要となる。

(2) FCD における黒鉛や AC4CH における共晶組織や介在物などミクロ組織の強度に対する影響がよく分かっておらず、強度上の信頼性が低い。

(解決案) 組織観察で得られたミクロ構造をそのまま、あるいは組織画像処理技術によりパラメータして仮想的なモデル化して応力解析を行う。本報告の FCD モデルに適用した手法である。

(3) 鋳造欠陥や鋳肌などの形状の影響による強度低下の扱いが困難である。

(解決案) 欠陥の影響の定量的把握が可能な破壊力学的評価を有限要素解析を利用して適用する。

(4) 凝固現象は元素組成の影響が極めて強く、ロット違いに対する品質保証の課題が残る。

(解決案) 物性値計算技術により元素組成の影響を定量化する。計算された物性値は鋳造 CAE に利用できるため、スムーズな連携が可能である。

図6　鋳造製品に適用可能な要素技術と連携手法

３．３．微小部強度試験(3点曲げ試験)

図 7 に曲げ試験の実施状態、図 8 に曲げ試験片を示す。また、図 9 に荷重－変位曲線、荷重－ひずみ曲線を示す。グラフの直線部は弾性変形であることを示し、材料の弾性率が関与する。次に、変曲点は塑性変形が生じたことを示しており、降伏点が関与する。変曲点後の挙動は、幾何学的な条件と材料の加工硬化特性が関与する。以上より、仮想的な物性値で CAE 解析を行い、実験結果と合致するような物性値を探索することで、種々のパラメータを求めることが可能である。この手法は、逆同定手法と呼ばれるもので、CAE の新しい利用方法として広まっている。

図7　3点曲げ試験実施状態

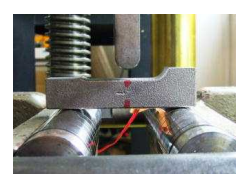



図8 曲げ試験片

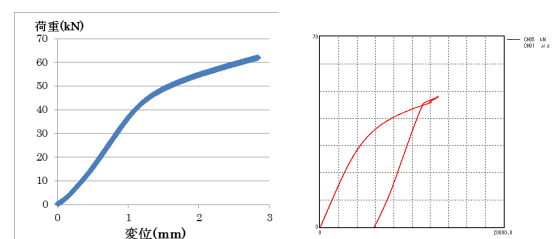



図9 曲げ試験の荷重-変位、荷重-ひずみグラフ の例

図 10、11 は、3 点曲げ試験の CAE 解析結果であり、それぞれ最大主応力分布、相当塑性ひずみの分布図である。いずれも破壊が生じた時点に対応する挙動であり、この時の相当塑性ひずみが引張試験の破断伸びに対応する。両者は表現や応力状態に多少の違いがあるため、補正は必要と思われるが相関性は高いと見込まれる。

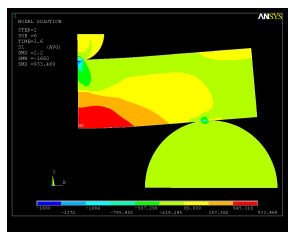
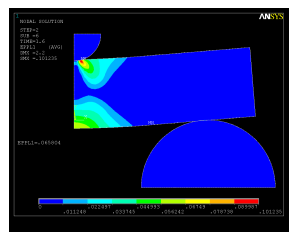



図10 最大主応力分布　　図11　相当塑性ひずみ分布

3．4．FCDモデルの計算結果

FCD モデルに対し y 方向(紙面縦方向)に 10%の伸びを与えた場合の変位分布を図 12 に、相当塑性ひずみ分布を図 13 に示す。黒鉛は弾性率、強度が小さく、ボイドに近い存在であるため、黒鉛周辺で変形が大きく楕円状に広がることが分かる。図 13 は黒鉛を非表示としているが、黒鉛とフェライトの境界部で応力集中が生じ、平均 10%ひずみに対し 19%の塑性ひずみが生じている。

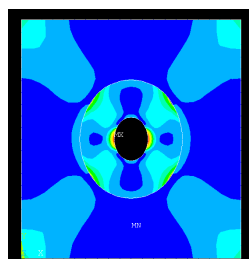



図12 y方向変位分布　　図13 相当塑性ひずみ分布

これらミクロ構造モデルの特徴は、降伏、破壊の発生を材料別、場所別に考慮できる点である。一般的な 150HV フェライト、350HV パーライト組織の破断伸びは、それぞれ 25%、15%程度であり、CAE 解析の相当塑性ひずみとの比較により破壊判定可能である。例えば、図 13 の場合、フェライト組織の破断ひずみ 25%に対し、最大ひずみは 19%であるため、破断はしないと判定できる。

次に、上記組織を焼入れしパーライト素地が 500HV のマルテンサイト組織(降伏点 1500MPa、伸び 4%)に変わった場合の解析結果を示す。図 14 は、平均ひずみ 5%時点の塑性ひずみ分布図であるが、フェライト組織の黒鉛境界の応力集中部の最大ひずみは 16 %で破壊しないのに対し、マルテンサイト組織の塑性ひずみが 4%に達し、この段階でマルテンサイト組織の破壊が開始すると判断される。

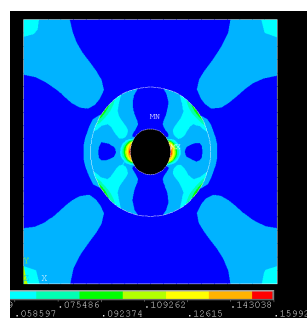



図14 マルテンサイト素地の相当塑性ひ

以上の結果から、黒鉛周辺組織と其地組織の硬さの組み合わせにより組織全体としての限界の伸びが決定されることが明らかになった。CAE では、仮想的に様々な硬さの組み合わせの挙動を調べることができるため、全体として最適な強度特性を発現する組織の組み合わせを見出せる可能性がある。

4．結言

本研究では、マルチスケール CAE 技術を製品開発に活用する手法の検討し、以下の結果を得た。これらの成果は、ハイテクプラザが運営する新素材利用技術研究会の活動を通して公表し、平成 25 年度は協力企業の実製品への適用を試みる予定である。

(1) 材料技術分野の要素技術マップを作成し、県内企業への適用実現性の高い連携手法の提案、分野別の提案を実施した。
(2) 微小部強度試験として、実製品より採取した試験片を対象に 3 点曲げ試験を実施し、ひずみ測定や CAE 解析を併用することで、引張試験と同等の強度、耐力、伸びの算出が可能であることを確認した。
(3) 金属のミクロ組織を直接 FEM モデル化する技術の応用として、FCD モデルの 10%変形時の解析を行った結果、球状黒鉛周辺で局所的に 19%を超える塑性変形を生じることを確認し、破壊に与えるミクロ構造の影響を定量的に把握できる可能性を見出した。

CFRPの穴加工における工具・加工条件の検討(第２報)

Investigations on Tools and Processing condition for CFRP by Drilling (2nd Report)

技術開発部生産・加工科　　夏井憲司　吉田智　齋藤俊郎

軽くて高強度であるという特性から燃費向上を目的として航空機や自動車に使用されるようになったCFRP(炭素繊維強化プラスチック)の穴加工実験を行い、加工穴の品質および工具摩耗の評価を行った。その結果、CFRPの穴加工を行う際に工具を決定するための基礎データを収集することができた。

Key　words: CFRP、穴加工、工具摩耗、加工欠陥

１．緒言

近年、炭素繊維強化プラスチック (CFRP)は、軽くて高強度であるという特性から燃費向上を目的として、航空機や自動車などに使用されるようになってきた。その接合には主にリベットやボルトが用いられるため穴加工が必要になるが、穴加工を行うと層間剥離(デラミネーション)や繊維切れ残りなどの加工欠陥および著しい工具摩耗が発生するなど問題が多数ある。

前年度の研究においては、特徴的な3種のCFRP加工用ドリルと金属加工用ドリルで実験を行い、工具の形状やコーティングが加工穴の品質や工具摩耗に与える影響を調査した[1)]。

本年度の研究においては、前年度使用したCFRP加工用ドリルの2種を用いて、加工条件(切削速度、送り量)を変更しながら実験を行い、加工条件が加工穴の品質や工具摩耗に与える影響の調査を行ったので、その結果を報告する。

２．実験方法

２．１．使用ドリルおよび加工条件

今回、実験に使用したドリルを図1に示す。本年度の研究では、前年度も使用した2種類のCFRP加工用ドリルを使用した。ドリルAは、ダイヤモンドコーティングを施した超硬合金ドリルで、ドリルの先端角が切れ刃の途中で変化するダブルアングル形状をしており、切削時のスラスト力を小さくし、デラミネーションの発生を抑制することができる。ドリルBは、先端がロウソクの様な形をした特殊形状超硬合金ドリルで、切れ刃の先端が鎌の様に尖っており、炭素繊維の切れ残りを抑制する形状になっている。

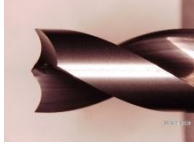
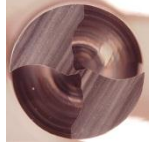
工具の径は、航空機の製造において最も多く用いられている直径6.35mmに、市販されているものの中で最も近いものを選択した。

	形状		工具径 [mm]
ドリルA ダイヤモンドコーティング			6.35
ドリルB 特殊形状超硬			6.5

図１　実験で使用したドリル

加工条件は，切削速度50、100、150m/minの3条件と送り量0.03、0.06、0.12mm/revの3条件を掛け合わせた合計9条件とした。

２．２．被削材および実験装置

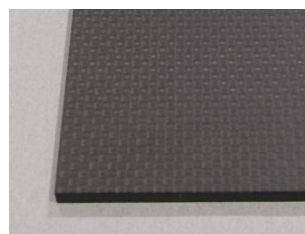
実験に使用した被削材を図2に示す。被削材には，プリプレグと呼ばれる炭素繊維を樹脂で固めて半硬化させた中間材料を、16枚重ねオートクレーブで成形したCFRPを用いた。

寸法　200×200×t4(mm)
構成　表裏面:クロスプリプレグ
(東レ製 F6343B)2ply
中層:UDプリプレグ
(東レ製 3252S-25)
(0°/90°)×7　14ply

図２　実験で使用した被削材

実験装置には、マシニングセンタ(三菱重工業(株)製M-V5B)を使用した。加工機の故障や精度低下の原因となる切りくずの飛散を防止するため、囲いをテーブル上に取り付け加工実験を行なった。

また、囲いの中にCFRPを固定するための治具と切削力による被削材の変形を防止するためのバックアップボードを取り付けた。バックアップボードには、ドリル径より直径が1mm程度大きい下穴が開いており、その上にCFRPを固定し、下穴の開いている位置で穴加工を行った。使用した治具を図3に示す。

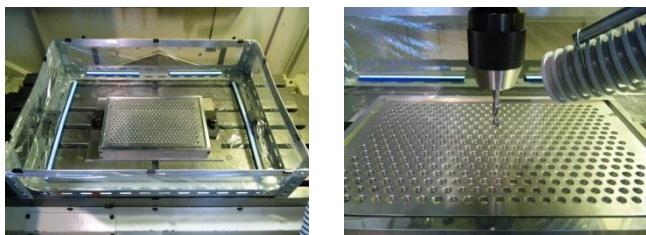



図３　作製した治具
（左：切りくず飛散防用囲い、右：バックアップボード）

２．３．工具摩耗、加工穴品質の評価方法

今回の実験では、工具摩耗量の測定には，測定顕微鏡((株)ニコン製 MM-40)を使用した。加工穴数が、15、30、60、90、150、210、270 穴に達するごとに工具摩耗量の測定を行なった。

実験終了後は、デジタルマイクロスコープ((株)ハイロックス製 KH-7700)による工具摩耗状況の観察、実体顕微鏡(オリンパス(株)製 SZX12)による CFRP 加工穴の観察、三次元測定機(カールツァイス社製 UPMC550)による加工穴径の測定を行なった。

３．実験結果と考察

３．１．工具摩耗

昨年度の実験よりドリル A は逃げ面摩耗が発達することが分かっていたため、加工条件による摩耗の進行の違いを調べるために、逃げ面摩耗幅の比較を行なった。図 4 に 270 穴加工後のドリル A の逃げ面の観察画像を示す。

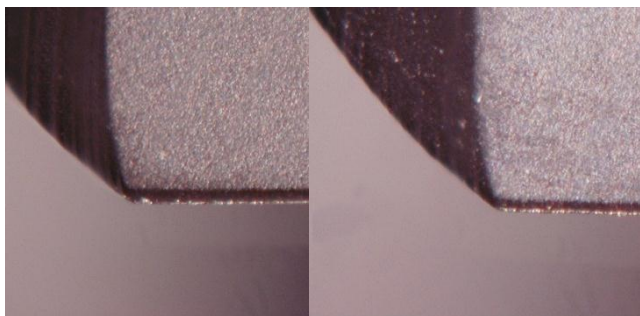



図４　ドリル A 逃げ面の観察画像
（左：V50m/minf0.03mm/rev、右：V150m/min f0.12mm/rev）

左図は、切削速度 50m/min 送り量 0.03mm/rev の加工条件で 270 穴加工した後のドリル逃げ面の観察画像である。その逃げ面摩耗幅は 45μm だったが、右図の切削速度 150m/min 送り量 0.12mm/rev の加工条件で加工したドリルになると逃げ面摩耗幅は 23μm となり、摩耗の進行に違いが見られた。

すべての加工条件で 270 穴加工した場合に、発生した逃げ面摩耗幅(切れ刃 2 枚の平均値)を図 5 に示す。

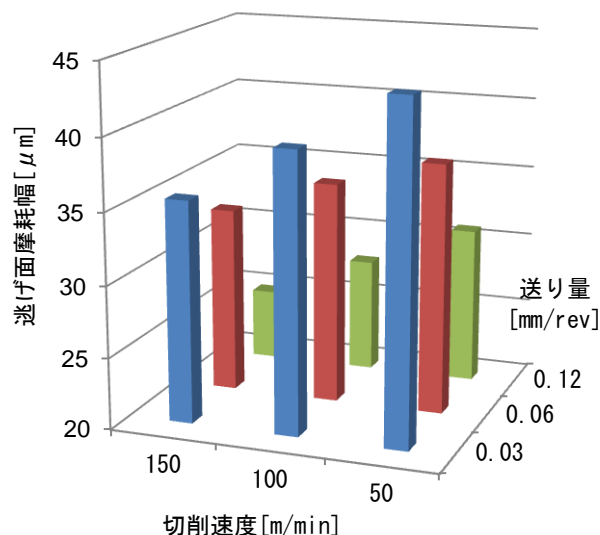



図５　270 穴加工後の逃げ面摩耗幅（ドリル A）

逃げ面摩耗幅は、送り量が小さくなると増加する傾向を示した。送り量の減少、つまりすべり距離の増加に伴い、摩耗幅は減少する傾向を示したことから、今回の摩耗は、CFRP の切りくずに含まれる極めて短い炭素繊維と工具表面とがこすれあって起こるアブレイシブ摩耗が原因だと考えられる。

また、送り量が同じであっても切削速度が遅い方が、摩耗幅は大きくなる傾向を示したことから、逃げ面摩耗幅は、すべり距離だけではなく、実切削時間にも影響を受けていると考えられる。

次に、ドリル B の実験前と実験後の逃げ面の観察画像を図 6 に示す。

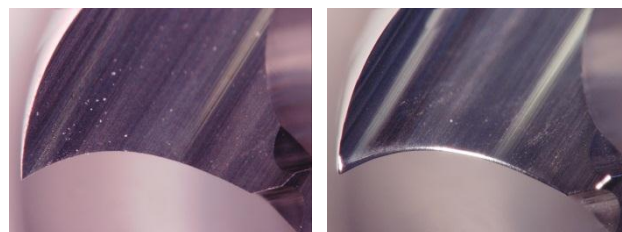



図６　ドリル B 逃げ面の観察画像
（左：未使用、右：270 穴加工後）

ドリル B では、加工穴数の増加に伴い逃げ面摩耗の進行の他に、刃先(切れ刃外周部)の後退が見られた。そのため、ドリル B では摩耗の進行の評価に、刃先後退量を用いることとした。すべての加工条件で 270 穴加工した後の刃先後退量(切れ刃 2 枚の平均値)を図 7 に示す。

ドリル B においても、切削速度および送り量が大きくなると刃先後退量が小さくなり、摩耗の進行は抑制される傾向を示した。

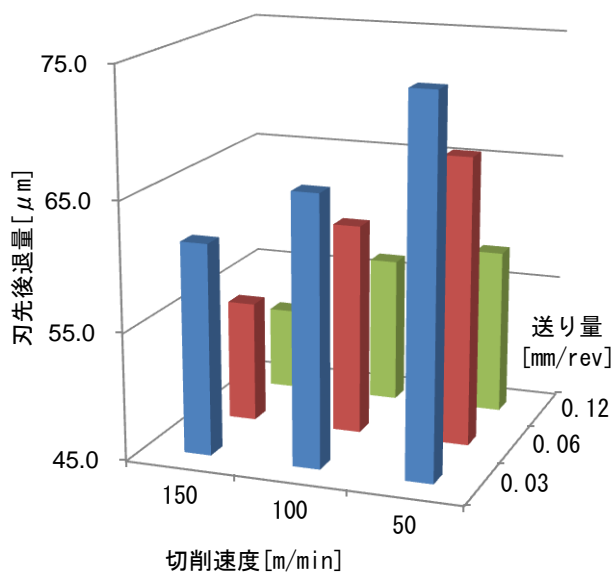



図7　270穴加工後の刃先後退量（ドリルB）

３．２．加工欠陥

ドリルAの加工穴の観察画像を図8に示す。

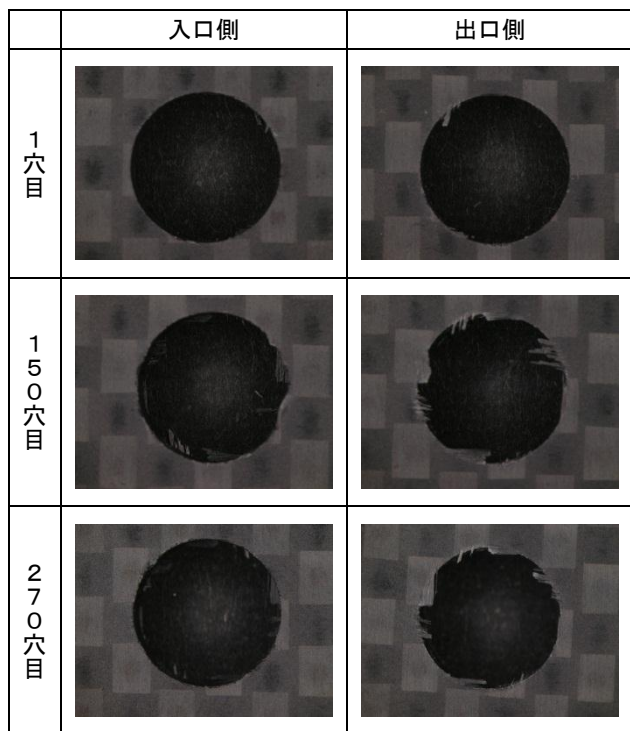



図8　加工穴の観察画像（V100m/minf0.06mm/rev）

ドリルAで加工した場合に発生した加工欠陥は、主に炭素繊維の切れ残りだった。炭素繊維の切れ残りは、出口側に多く発生し、加工穴数が増えるほどその量は増加していった。

また、加工条件が変わると発生する加工欠陥にも違いが見られた。図9は送り量を一定にして、切削速度を変化させたときの加工穴の観察画像である。

切削速度が低いときは、出口側に炭素繊維切れ残りが多く発生したが、切削速度が増加するに従い切れ残り量は減少していった。

図10に切削速度を一定にして、送り量を変化させたときの加工穴の観察画像を示す。

送り量が0.03および0.06mm/revのときは、出口側に一部繊維の切れ残りが見られたが、送り量を0.12mm/revまで上げると繊維の切れ残りはほとんど見られなくなった。

次にドリルBの加工穴の観察画像を図11に示す。

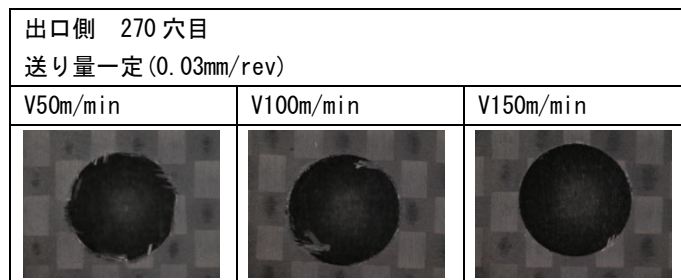



図9　切削速度を変化させたときの加工穴の観察画像

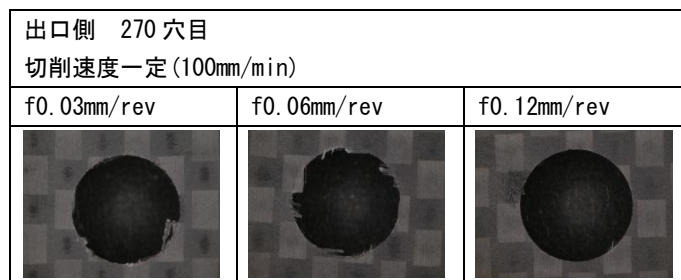



図10 送り量を変化させたときの加工穴の観察画像

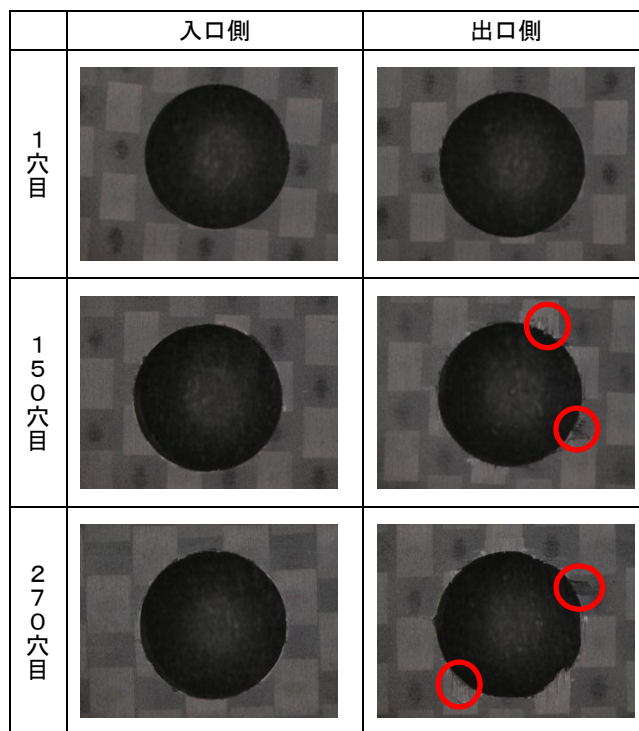



図11　加工穴の観察画像（V100m/minf0.06mm/rev）

ドリル B では、ドリルの出口側において、表面の樹脂と炭素繊維が剥がれる表面剥離が発生した。1 穴目は表面剥離は発生しなかったが、加工穴数が増えると剥離箇所は多くなり剥離箇所の面積も拡大していった。

図 12 は、送り量を一定にして、切削速度を変化させたときの加工穴の観察画像である。

出口側　150 穴目 送り量一定(0.03mm/rev)		
V50m/min	V100m/min	V150m/min

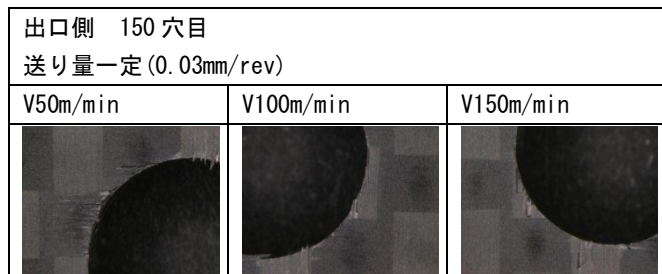



図 12 切削速度を変化させたときの加工穴の観察画像

すべての加工条件において、出口側で表面剥離が発生していたが、切削速度を変えたことによる影響はあまり見られなかった。

図 13 に、切削速度を一定しにして、送り量を変化させたときの加工穴の観察画像を示す。

出口側　150 穴目 切削速度一定(100m/min)		
f0.03mm/rev	f0.06mm/rev	f0.12mm/rev

図 13 送り量を変化させたときの加工穴の観察画像

どの加工条件でも、表面剥離は見られたが、送り量が大きくなるほど剥離箇所は多くなり、剥離箇所の面積も拡大していった。

３．３．加工穴径

加工穴径の評価には、三次元測定機で測定した加工穴径から測定顕微鏡で測定したドリル径を引いた値(穴径誤差)を用いた。図 14 に、ドリル A を用いてそれぞれの加工条件で加工した 1 穴目の穴径誤差を示す。

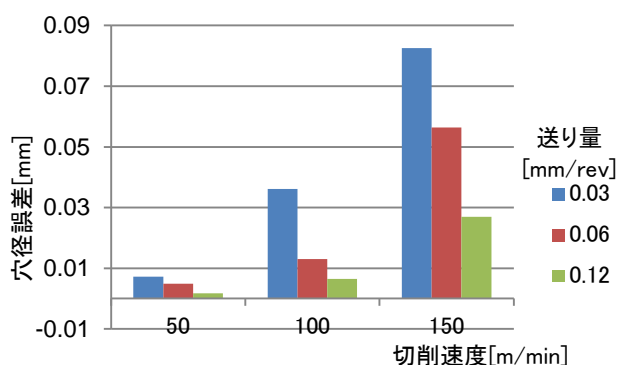



図 14　1 穴目の穴径誤差(ドリル A)

切削速度が大きいほど穴径も大きくなった。また、同じ切削速度でも送り量が小さいほど穴径は大きくなる傾向を示した。切削速度 150m/min 送り量 0.03mm/rev の加工条件では、加工穴の直径がドリル径より 0.08mm 以上大きくなる結果となった。

図 15 は、ドリル A を用いてそれぞれの加工条件で加工した 270 穴目の穴径誤差である。

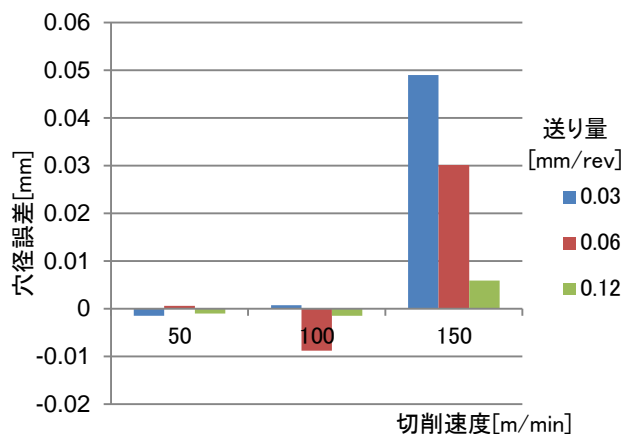



図 15　270 穴目の穴径誤差(ドリル A)

加工穴数が増加すると、穴径はすべての条件で小さくなる傾向を示した。切削速度が 150m/min 送り量 0.03mm/rev の加工条件では、穴径は 1 穴目より 0.03mm 程度減少したが、それでもドリル径より 0.05mm 程度大きくなっていた。

加工条件によって、穴径誤差が異なる理由を調査するため、真円度測定機((株)東京精密製 RONDCOM60A)を用いて加工穴の内面の形状(円筒度)の測定を行った。図 16 は、切削速度 150m/min の加工条件時の測定結果である。

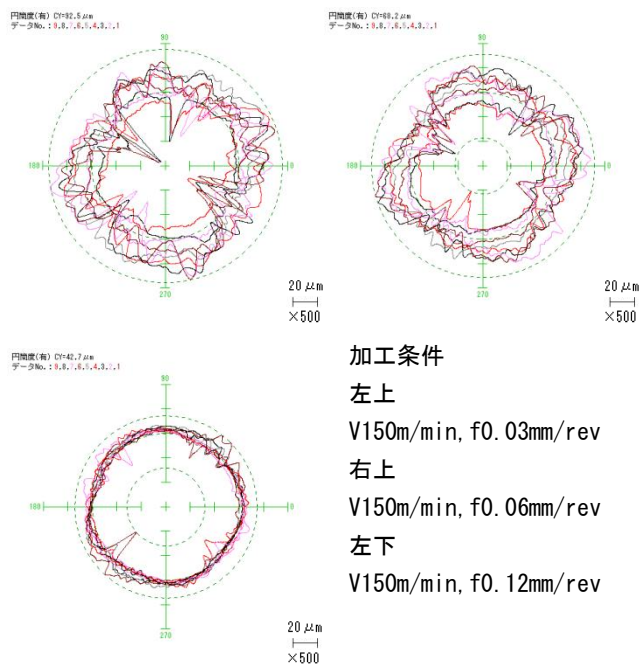



図 16　加工穴の内面形状(切削速度一定)

左上の図は、穴径が最も大きくなった送り量が 0.03mm/rev のときの測定結果である。この測定結果から、加工穴内面は粗く、ドリルの出口側に向かうにつれ穴径は拡大していることがわかった。

これは、切りくずの噛み込みにより、加工穴内面が削れた結果起きた現象だと思われる。

この切りくずの噛み込みによる穴径の拡大は、送り量を 0.06mm/rev(右上の図)、0.12mm/rev(左下の図)と大きくしていくと減少する傾向を示した。送り量を小さくすると、切りくずの噛み込みが発生しやすくなり、穴径が拡大したのだと思われる。

また、切削速度による影響を調査するため送り量が 0.03mm/rev のときの測定結果の比較を行った。図 17 はその結果である。

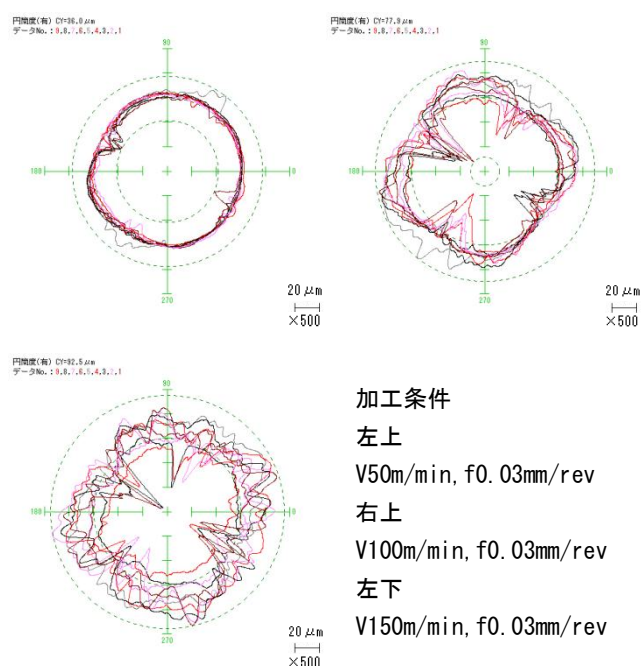



図 17　加工穴の内面形状(送り量一定)

切削速度が、50m/min(左上の図)、100m/min(右上の図)、150m/min(左下の図)と大きくなっていく程、加工穴内面は粗くなり、ドリルの出口側に向かって穴径が拡大していく傾向を示した。

切削速度が大きい程、切りくずの噛み込みが発生しやすくなり、穴径が大きくなることがわかった。

図 18 に、ドリル B を用いて各加工条件で加工した 1 穴目の穴径誤差を示す。

1 穴目の穴径は、ドリル径とほぼ同じか、わずかに大きくなる程度で、ドリル A の結果と比べると加工条件による差はほとんど見られなかった。

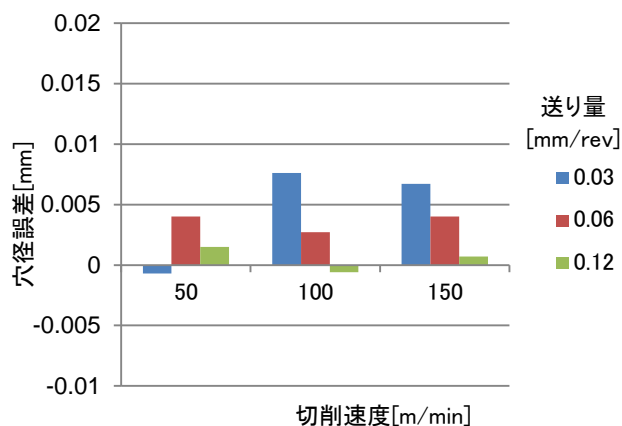



図 18　1 穴目の穴径誤差(ドリル B)

図 19 は、各加工条件で加工した 270 穴目の穴径誤差である。

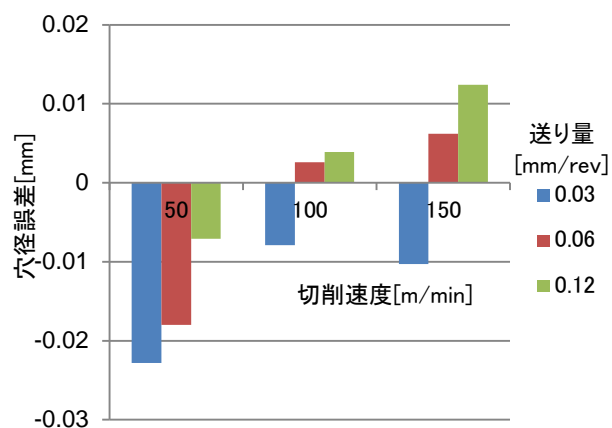



図 19　270 穴目の穴径誤差(ドリル B)

加工穴数が増加すると、穴径が拡大するものと縮小するものに分かれた。全体的な傾向を見ていくと、切削速度が大きいほど穴径は大きくなっていることがわかる。また、どの切削速度でも、送り量が大きいほど穴径も大きくなる傾向を示した。しかし、最も穴径が大きくなった加工条件でも、穴径はドリル径より 0.013mm 程度しか拡大しておらず、同じ加工穴数のドリル A の結果と比較すると拡大幅は 4 分の 1 程度に留まった。逆に、穴径の縮小したものについては、同じ加工穴数のドリル A の結果と比較すると縮小幅は 2 倍以上になっていた。

ドリル B においてもドリル A と同様に、加工条件によって、穴径誤差が異なる理由を調査するため、真円度測定機による加工穴内面の形状測定を行った。図 20 は、送り量が 0.12mm/rev のときの測定結果である。

ドリル B の測定結果からは、切削速度が、50m/min(左上の図), 100m/min(右上の図), 150m/min(左下の図)と大きくなるにつれ、加工穴内面は粗くなっていること

がわかった。この内面形状の乱れから、切削速度が大きくなると切りくずの噛み込みにより内面が削れ、穴径が拡大したのではないかと思われる。

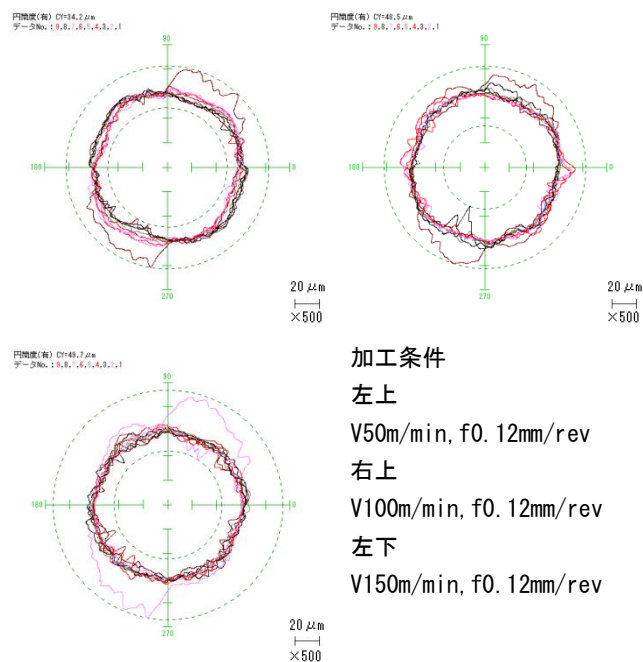



図 20　加工穴の内面形状（送り量一定）

図 20 にて 1 断面だけ 45～90 度、225～270 度方向において、外側に膨らんでいる形状が見られた。これは、UD プリプレグから作製した CFRP をドリルにて切削加工した場合に、炭素繊維の方向から 45°ずれた位置に発生するクレータ [2]と呼ばれるくぼみだと思われる。

次に、同じ切削速度で、送り量を変化させたときの加工穴内面形状の測定結果の比較を行ったが、目立った違いは見られなかった。そこで、穴径縮小の原因が摩耗によるドリルの縮小にあるのではないかと考え、電子顕微鏡にて、ドリル刃先の観察を行った。図 21 はその結果である。

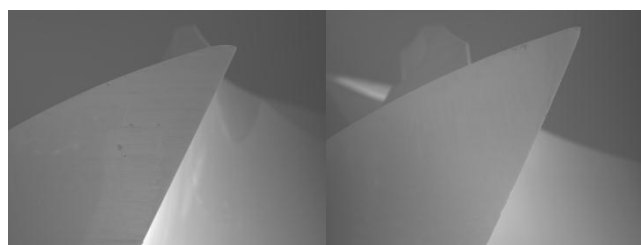



図 21　ドリル刃先の観察画像（ドリル B）
（左:V50m/min, f0.03mm/rev、右:V50m/min, f0.12mm/rev）

左図は、切削速度 50m/min 送り量 0.03mm/rev で 270 穴加工したドリルの観察画像である。右図の切削速度はそのままで、送り量を 0.12mm/rev に変化させて加工したものとの比較を行った。左図の方が摩耗により若干刃先が後退していることがわかったが、ドリルの径が縮小している様子はどちらからも確認できなかった。

送り量を小さくした場合に、穴径が縮小した原因が、工具径の縮小であることは確認できなかったが、送り量を小さくした方が刃先の後退が速くなることは確認できた。他に考えられる理由としては、今回の観察では確認できなかったドリルの微小な摩耗により、刃先の切れ味が落ちて、ドリルの穴を押し広げながら加工しようとする作用が強くなったからではないかと思われる。切削力によって穴径が広がる方向に弾性変形していたものが、加工後に元に戻ることで起こる穴径の縮小(スプリングバック)が、この作用によって強く働いたためではないかと考えられる。

３．４．デラミネーション

デラミネーションの発生の有無を判定する方法として、加工穴の軸方向の表面粗さを測定する方法 [3]がある。デラミネーション、つまり CFRP の層間に隙間ができると、粗さ測定した際に表面粗さ計の触針がその隙間に落ちるため、デラミネーションが発生していないものに比べ表面粗さのパラメータは悪化する。その違いを使って、デラミネーション発生の有無を調べようというものである。

今回、加工実験で使用した CFRP は、表面にクロスプリプレグを使用して、中間層に UD プリプレグを使用して製作した CFRP である。中間層は UD プリプレグの繊維方向を 0°/90°として積層したものを、7 組重ねた構造とした。そこに、表面のクロスプリプレグ 2 層を加えて、合計 16 層の構造となっている。

図 22 に、ドリル B にて切削速度 50m/min 送り量 0.03mm/rev の加工条件で加工した 1 穴目内面の表面粗さの測定結果を示す。

赤線：繊維方向（奇数層）　青線：繊維方向（偶数層）　白線：測定場所

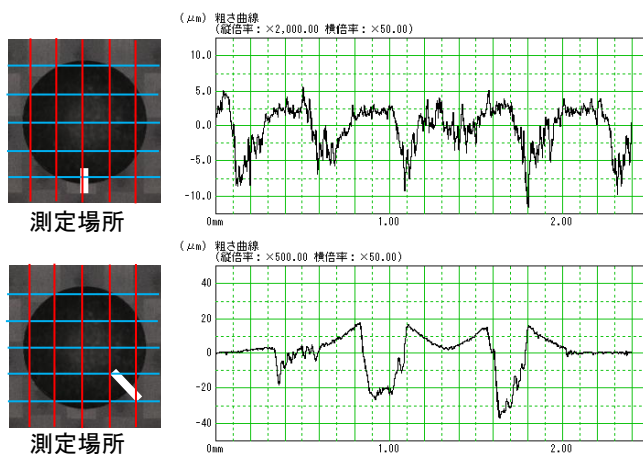



図 22　加工穴内面の表面粗さ（ドリル B）

上図と下図では、測定場所を変えている。上図は、奇数層の繊維方向に平行になり、偶数層の繊維方向に垂直になる位置の表面粗さの測定結果である。表面は

比較的なめらかで、算術平均粗さ Ra は 0.86μm 程度であった。

それに対し、下図は奇数層、偶数層ともに繊維方向と 45°の角度で交わる位置の測定結果である。図 20 でも見られたクレータと呼ばれる深さ 20～40μm 程度のくぼみが複数発生しており、算術平均粗さ Ra は 7.53μm まで悪化していた。

今回被削材に使用したのが、クレータの発生しやすい UD プリプレグから作製した CFRP だからだと思われるが、同じ加工穴でも測定場所によって表面粗さは大きく違っていた。このため、粗さ曲線や粗さパラメータからデラミネーションの発生を判断するためには、加工穴内面の複数個所での表面粗さの測定を行い、検証していく必要があることが分かった。

また、クレータとデラミネーションの判別方法についても検討していく必要があることが分かった。今後の課題としたい。

４．結言

CFRP の穴加工において、加工条件の違いが与える影響を調べるために、2 種類の CFRP 加工用ドリルを用いて加工実験を行った。

その結果、切削速度や送り量の変化が、工具摩耗や加工欠陥、穴径にどのような影響を与えるかを調査することができた。

(1) ドリル A、B とも、切削速度および送り量を大きくする程、摩耗の進行が抑制される傾向を示した。
(2) ドリル A にて発生した加工欠陥は、主にドリルの出口側の炭素繊維の切れ残りであった。炭素繊維の切れ残り量は、切削速度および送り量が大きい程減少する傾向を示した。
(3) ドリル B にて発生した加工欠陥は、主に出口側の表面剥離であった。送り量が大きくなるほど、剥離箇所は多くなり、剥離面積も大きくなる傾向を示した。
(4) ドリル A、B とも、切削速度を大きくするほど、切りくずの噛み込みが発生しやすくなり、穴径が拡大する傾向を示したが、B の拡大幅は A の 4 分の 1 程度であった。

また、加工穴内面の表面粗さからデラミネーション発生の有無を判定する方法の検証を行った。しかし、同じ加工穴の内面でも、測定場所により表面形状に大きな違いがあるため、表面粗さからデラミネーションの発生の有無を判断することはできなかった。今後、検討を行っていきたい。

参考文献

1)“CFRP の穴加工における工具・加工条件の検討” 福島県ハイテクプラザ研究報告、pp.1-4、2011
2)柳下福蔵 : “航空機用 CFRP 積層体の穴あけ加工技術の開発”、平成 24 年度先端材料技術協会主催 CFRP 加工セミナー配布資料
3)“航空機機体部品トータルコンポーネントソリューション”、サンドビック(株)コロマント事業部パンフレット

FPGA を用いた制御システムの開発

Development of the industrial machine control system using FPGA

技術開発部生産・加工科　　高樋昌　吉田英一

生産機械の制御回路開発の効率化と小型化を図るために、FPGA を用いた SoC システムの構築を行った。また、制御ソフトウェア開発の優位性を確認するためにリアルタイム OS を用いた。産業機械の例として巻線機への適用を図った結果、容易に既存制御回路の置き換えが可能であることがわかり、所定の動作を確認することができた。また、SoC システムを導入したことにより制御回路基板を 19 分の 1 程度に小型化することができた。さらに、TOPPERS/JSP を用いることで MPU に依存しないソフトウェアを構築することができた。

Key　words:組込み、FPGA、SoC、μITRON、TOPPERS プロジェクト

１．緒言

電機製品の開発において、制御回路が大規模化する一方、回路の開発期間は短縮を求められている。企業は開発効率を向上させることで対処しているが、組込み技術は代表的な対策の一つである。近年、新たな技術として、MPU と周辺回路を全て FPGA 内部に実現する SoC(System on a Chip：複数機能を集積した半導体チップ設計)を使用した開発の効率化が注目されている [1]。SoC のメリットは、記述型回路を用いることにより急な仕様変更、設計変更に柔軟に対応できることや、MPU 周辺機能の設計を開発者が行うため、必要最小限のデバイス・機能のみで回路を構成することができることである。このように、FPGA を用いた製品開発を行うと開発効率の劇的な向上が期待できるため、開発期間の短縮や従来システムの機能の充実を迫られることの多い中小企業でも積極的に取り入れようとしている。

初年度は、具体的なターゲットとして産業機械に多く使われている三相交流モータの制御を想定し、ワンチップで三相交流モータの制御システムを構築するために、制御回路と MPU を FPGA に配置し SoC を実現した。制御回路には、モータ駆動に多く用いられる PWM 回路 [2]を用いた。さらに、組込み用リアルタイム OS として TOPPERS/JSP[3]を搭載し汎用性を高めた。これらのシステムの検証を行ったところ、所定の動作を確認でき、制御基板の小型化、設計変更時間の短縮も確認できた。

本年度は、産業機械としての動作を確認するために、産業機械の例として自動巻線機の駆動を試みた。制御値をタッチパネルで入力し、自動巻線機の動作を確認した。

２．システム設計

図 1 に本研究で構築するシステムの概要を示す。

システムは基本的に昨年度と同様だが、FPGA ボード上に配置されている三軸加速度センサーとプッシュボタンを新たな外部ハードウェアとして利用した。三軸加速度センサーは異常振動を検知した場合の緊急停止用として、また、プッシュボタンは緊急停止ボタンとして機能させた。なお、本年度も簡単のためフィードバック制御などの安定化制御は加えていない。

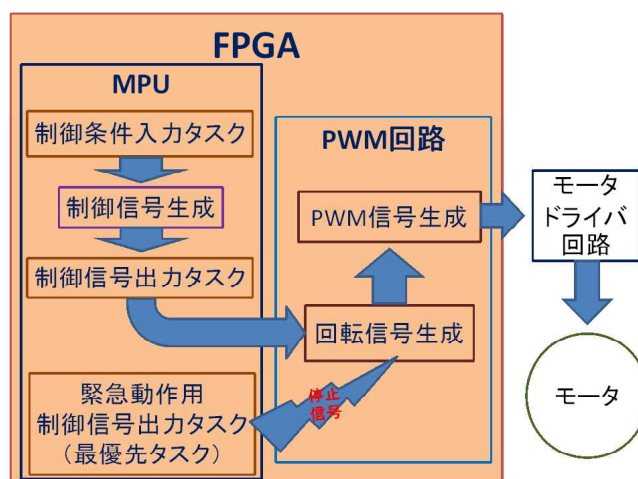



図1　システムブロック

実験に用いた FPGA ボードを図 2 に示す。実験用ボードは Terasic 社の DE0-Nano を用いた。本ボードは昨年度に用いた FPGA ボードよりも小型で、搭載 FPGA も容量の小さい Altera 社の CycloneIV E(EP4CE22F17C6N)が搭載されている。この FPGA は

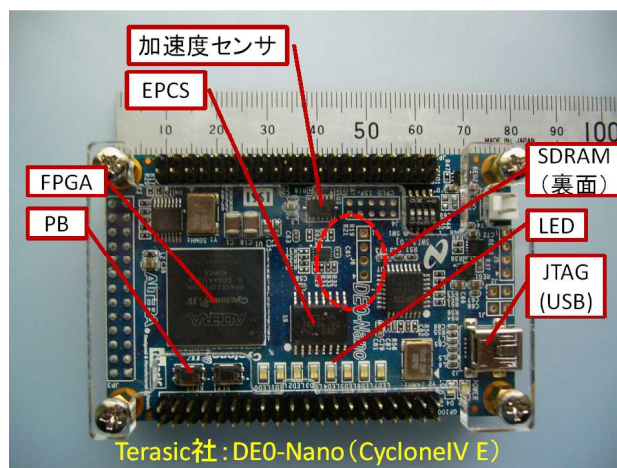



図2　実験用FPGAボード

汎用タイプと呼ばれるもので、ロジックエレメント数(LE)22,320、内蔵メモリ 74kB、PLL 数 4、汎用 I/O 153 ピンという小規模 FPGA である。また、汎用デバイスとして、LED(8bit)、PB(プッシュボタン)、EPCS メモリ(8MB)、SDRAM(32MB)、JTAG コネクタ、汎用入出力ピンが用意されている。

SoC を構成する MPU ブロックと PWM 回路ブロックのハードウェア(記述回路)を図 3、図 4 に示す。

MPU ブロックにおいて、MPU には Altera 社が提供する NiosII/e　IP コア(32 ビット)を用いた。MPU に接続する汎用デバイスは、SoC を構成する FPGA が実装された実験用ボードのハードウェアをそのまま利用した。本研究では、LED、PB、EPCS メモリ、JTAG コネクタ、三軸加速度センサを MPU に接続するためのインターフェースおよび OS 用のシステムタイマを用意した。

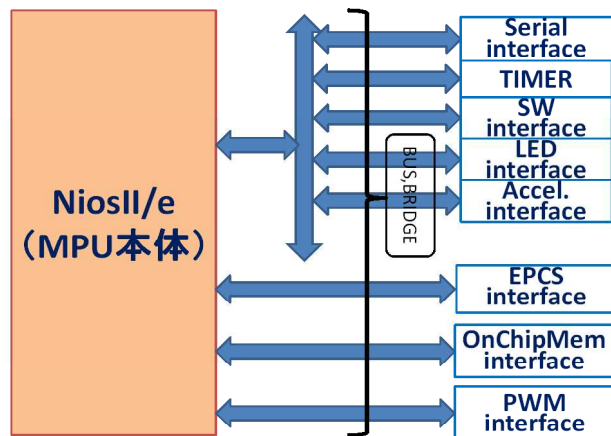



図3　MPUブロック詳細

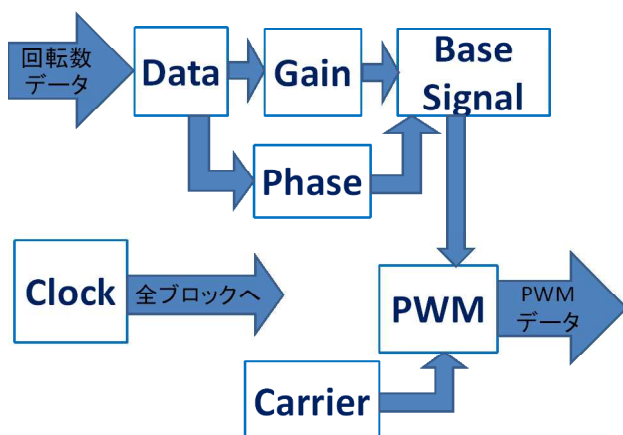



図4　PWMブロック詳細

PWM 回路ブロックの構成要素は、位相調整器、ゲイン調整器、キャリア信号発生器、比較器、PWM 信号生成器、PWM 回路基準クロック生成器とした。

PWM 回路は、速度指令値を受けとり各相ごとの速度信号を生成したのち、キャリア信号と比較して PWM 信号を生成するという一般的な回路となっている。システムクロックを 50MHz、PWM 回路基準クロックを 3.84MHz とし、キャリア信号は 15kHz の三角波とした。なお、交流モータの制御では、制御信号の正負反転時に空走時間(デッドタイム)を挿入する必要がある。通常回路で実装することが多いが、本システムでは PWM 信号発生器内に実装した。

３．基本ソフトウェア開発

モータの回転制御を行うために、リアルタイム OS として μITRON 仕様の TOPPSER/JSP を導入し、回転制御用のソフトウェアを制御値入力タスク、PWM 回路用パルス変換タスクおよび緊急動作用制御信号出力タスクで構成した。入力タスクで制御値を入力し、入力された値をパルス変換タスクで制御用パルスに変換するという構造にした。また、最優先タスクとして緊急停止タスクを実装し異常振動や緊急停止に対応した停止信号を送出するようにした。制御値は以下の通りである。

(1)　モータの立上り回転数(rpm/s)
(2)　モータの立下り回転数(rpm/s)
(3)　最高回転数(rpm)
(4)　巻き数(回)
(5)　回転方向(CW/CCW)

制御値設定画面を図 5 に、制御値入力画面を図 6 に示す。

PWM 回路用パルス変換タスクでは、モータの立上り→最高回転保持→モータの立下りの各状態の保持時間をパルス数に変換する。通常、モータ制御では正確な回転数が必要になるため、回転数をロータリエンコーダ等でモニタしフィードバックするが、簡単のためフィードバック制御などの安定化制御は割愛した。

ターゲット MPU である NiosII への移植が済んでいることから、今回も組込みソフトウェアの開発には TOPPERS/JSP を用い、前回実装したタスクに緊急停止タスクを追加した。その他の記述変更は発生していない。

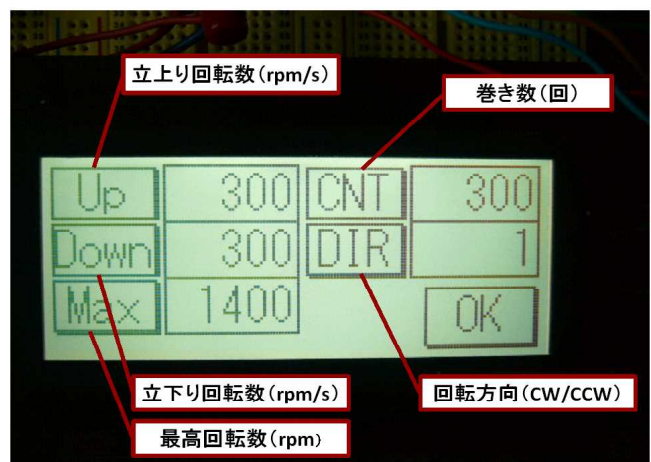



図5　制御値設定画面（入力例）

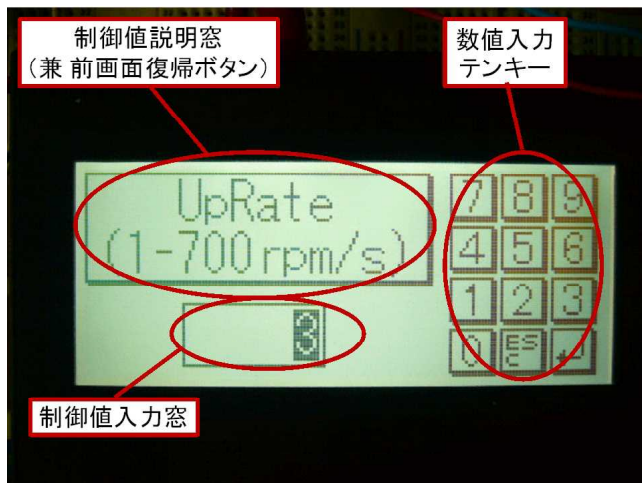



図6　制御値入力画面

４．システム検証

構築した SoC システムの動作を確認するために、図 7 に示す通り既存の自動巻線機に開発した SoC システムを適用しシステム検証を行った。

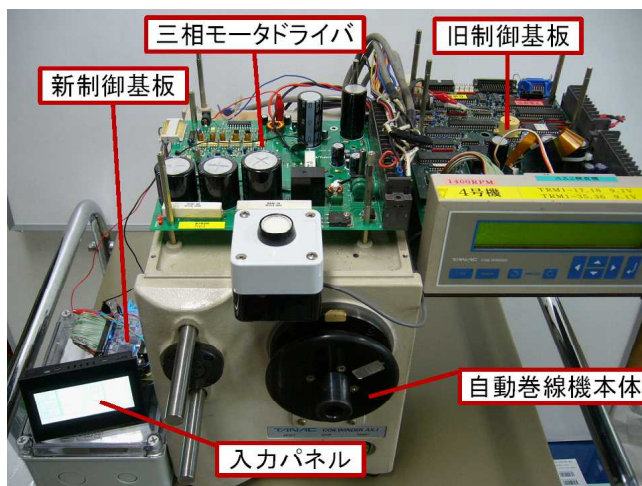



図7　自動巻線機実験装置

本研究では、SoC システムで発生した PWM 信号を直接モータドライブ回路に入力した。なお、安全のためデッドタイム制御は FPGA 上及びドライバ回路上とも有効にした。

制御値を、立上り回転数 150(rpm/s)、立下り回転数 150(rpm/s)、最高回転数 300(rpm)、巻き数 150(回)、回転方向 CW として巻線機を動作させたところ、所定の巻き数で停止した。エンコーダによるフィードバックを行っていないため、若干ずれが生じた。オープンループであることを考慮すると、十分実用的な結果であった。なお、実験は無負荷(実際に線材を巻き取っていない)だったが、負荷を加えた場合は巻き数の誤差は増えるものと想定される。

既存制御回路基板と SoC システムを搭載した汎用 FPGA 基板を図 8 に示す。汎用 FPGA 基板のサイズは 49mm×75.2mm である。開発に用いる汎用 FPGA 基板サイズによるが、ほとんどの汎用 FPGA 基板がこの程度の大きさである。既存制御回路基板は 240mm×300mm なので、面積比で約 19 分の 1 になり、大幅に小型化が実現できた。なお、既存制御回路基板のすべての機能を SoC システムに実装しているわけではないが(トラバース方向の制御は未実装)、SoC システムを構築してもなお FPGA の使用率は 23%程度である。したがって、FPGA に既存基板の残りの機能を実装することは可能である。

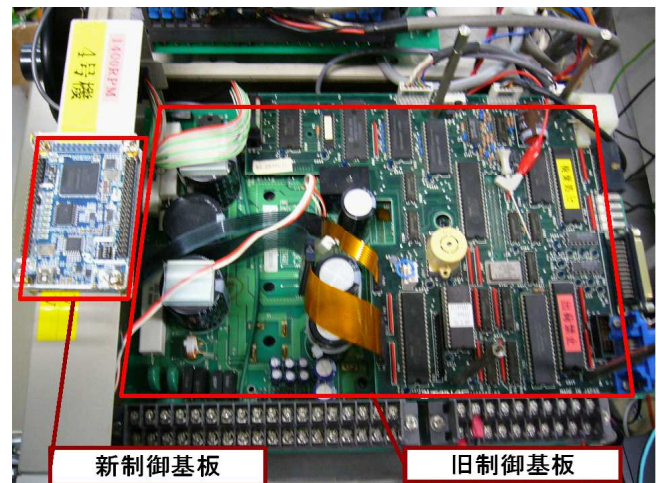



図8　ボードサイズ比較

５．結言

三相交流モータで駆動される産業機械の制御基板の小型化や開発効率の向上を狙い、FPGA 上に MPU と PWM 回路を搭載し SoC システムを構築した。

実際の産業機械に適用した結果、設定どおりの動作が確認でき、本システムによる現行システムの置き換えが十分可能であることが分かった。また既存基板との比較では、面積で 1/19 程度にすることができた。

参考文献

1)熊谷あき：“SoC 時代のシステム設計の現状”、CQ 出版、Interface、2005/6
2)尾形直秀他：“組込み応用製品の高機能化・高信頼性化に関する研究”、平成 19 年度福島県ハイテクプラザ試験研究報告、pp.13-16、2008
3)TOPPERS プロジェクト、http://www.toppers.jp

軽くて使い易い放射線遮蔽材料の開発
－放射線遮蔽製品の開発－
Development of a light and easy-to-use radiation shield
-Development of a flexible radiation shield using tungsten particles on microfiber-cloth-

いわき技術支援センター 機械・材料科　　吉田正尚　佐藤善久

本研究ではシーズ技術であるタングステン(W)微粒子固定による釣り糸の高比重化技術を応用し放射線遮蔽製品の試作を試みた。遮蔽材に用いた W は高比重であり、ガンマ線等の放射線遮蔽能も高い特性がある。そこで W の微粒子を固定した遮蔽製品を構想した。遮蔽能の向上の為 W 微粒子固定量の最大化を行った。即ち、W 微粒子の粒径を最適化し、担持体も起毛を有する化合繊製のマイクロファイバー布を用い、その布と W 微粒子と結合剤の 3 つを液相中で分散し微粒子コーティング法で試作した。試作品は布本来の柔軟性を保持しており試作布 1 枚の遮蔽能は鉄以上鉛以下であった。また本製法により手袋等の既製成型品にも W 微粒子を固定できた。

Key　words:放射線遮蔽、タングステン微粒子、マイクロファイバー、微粒子コーティング法

１．緒言
福島第一原子力発電所の事故により、放射性物質が飛散した。それに伴って、その敷地内や周辺では高い放射線量が検出され、復興や復旧の大きな妨げとなっている。特に今回の事故では、^{137}Cs に由来するベータ線とガンマ線が多いと言われている。ベータ線はアルミニウム等の軽金属の遮蔽板でも止められるが、ガンマ線は透過力が高い上に飛程が大きいので、衣服や建築物を透過して内部の人体を被曝させる。

ここで除染をはじめとした屋外や高線量下での活動においては、被曝量を増大させないように効率よく安全に作業を行う必要がある。そのためには放射線を減衰させながら、作業者の負担を軽減する軽くて柔軟な遮蔽材料が求められている。しかし、従来は遮蔽材料に金属板や金属の粉末を含有する樹脂成形品等が使用されてきた。金属板は変形しにくい上に、変形を繰り返すことによって疲労して破壊する。また、樹脂成形品は樹脂としての強度や性能が保てないので、多量の金属粉を添加することはできない。

一方、我々はかつて結晶配向性が高いポリエチレン製釣り糸の表面にタングステン微粒子(以下 W 微粒子と略)を固定する微粒子コーティング法を開発した[1)]。タングステンは優れた遮蔽材料である鉛よりも放射線を減衰させる能力が高い。そのためより多くの W 微粒子を担持体としての布材に固定できれば、金属板よりも柔軟で軽く、且つ樹脂成形品よりも薄くて高い放射線遮蔽能を有する遮蔽材料を開発することができる。

そこで本研究は微粒子コーティング法を応用して、より多くの W 微粒子を布材に固定化するため、布材と粒径の最適化に取り組んだ。また、走査型電子顕微鏡(以下 SEM と略)で繊維や微粒子が固定された状況を観察し、その原因を考察した。それらを成型品に応用して試作品(手袋)を製作した。試作した布材については、^{137}Cs 由来のガンマ線に対する遮蔽効果の評価も行った。

２．布材への微粒子固定と成形品への応用
２．１．実験方法
今回実施した微粒子コーティング法は図 1 に示すように、布材とW微粒子(高純度化学社製)を同時にシラン系結合材(信越シリコーン社製 KBE-903)の水溶液中に浸漬して行う。W 微粒子には 0.6~150μm までの、8 種類の粒径を用いた。□ 150mm の布材を水溶液に浸漬しながら攪拌することで、時間と共に W 微粒子が布材に固定される。

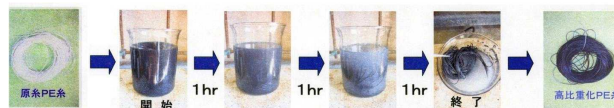



図1　微粒子コーティング法

２．２．ポリエチレン布への固定
はじめに、釣り糸で実績があるポリエチレン素材への W 微粒子固定を試みた。平織りのポリエチレン製基布で実験を行ったが、固定されたW微粒子は殆ど無く、図 2 に示すように布材が露出している部分が多かった。これは平織りのポリエチレン布では、ポリエチレン製原糸を製織し、製布する加工過程で糸の配向結晶性が低下し、W 微粒子の固定足場のラメラ晶が消失してしまったことが原因と考えられる。

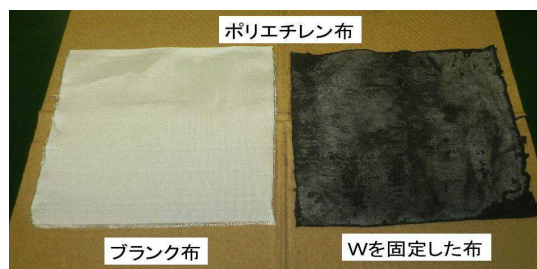



図2　W微粒子が固定されない様子

２．３．マイクロファイバー布への固定

ポリエチレンは元々化学的に不活性で表面修飾は難しい素材である。また釣り糸等の糸素材を用いる場合を除き、原糸で有していた高い配向結晶性を製布後のポリエチレン布でも保持することは難しいと考えた。そこで、眼鏡拭きやタオル等に用いられており、入手も容易な化合繊製のマイクロファイバーに注目した。マイクロファイバーは直径が 8μm 以下の極細繊維のことで、静電気力が大きくそれに伴う集塵力も高い。また、立体的な起毛構造を有するために表面積が大きい特長があるので、今回の微粒子コーティング法が有効に機能すると考えた。そこで、マイクロファイバー布(帝人社製ポリエステル 65%ナイロン 35%)を用いて W 微粒子固定実験を行った。

図3　微粒子コーティング法によるW微粒子の固定

W 微粒子を含みながら撹拌するため、図 3 に示すように当初は水溶液の色は黒色であったが、時間の経過と共に透明になった。これは、水溶液中の殆どの W 微粒子がマイクロファイバー布に固定されたためであった。今回の実験では、約 140g の W 微粒子を固定することができた。また、微粒子を固定した布材は、図 4 に示すように加工前の布材と同等の柔軟性を有することがわかった。

実験の結果、微粒子コーティング法を用いることによって、マイクロファイバー布に布本来の柔軟性を保ちながら多量の W 微粒子を固定できることがわかった。

図４　試作した軟らかいW布

SEM で観察したところ、図 5 に示すようにマイクロファイバー布の断面はくさび形の異形断面糸であることがわかった。この断面形状によって、マイクロファイバー布は非常に大きな表面積を有していると考えられる。また、W 微粒子は、凝集して偏在することもなく均一に分散して単糸に直接固定されているので、加工後も布の柔軟性が保持されていると考えられる。

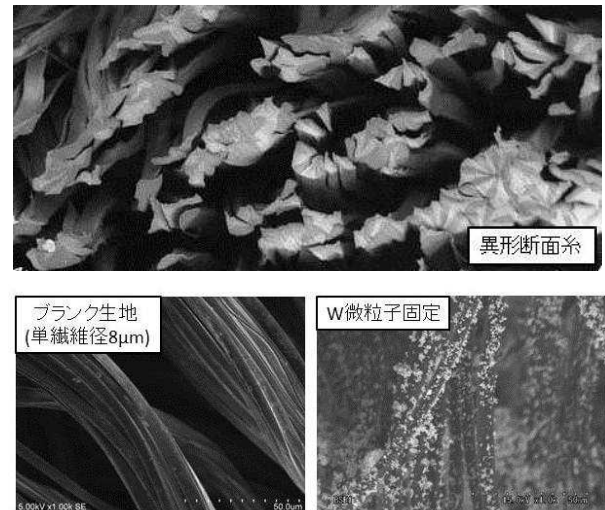



図5　SEMによる微構造観察

２．４．W微粒子の粒径最適化

マイクロファイバー布の単繊維径は約 8μm であるので、固定する W 微粒子にもその粒径によって水中での挙動やその布への固定量にも最適な粒径があると考えた。そこで、粒径毎に実験を行い、粒径の最適化を検討した。その結果、図 6 に示すように、粒径が 3μm および 5μm で最も大きな固定量が得られた。粒径がそれらよりも大きくなると、脱落して固定されない量が増大した。この結果、W 粒子固定量を最大化するには、粒径の最適化も必要であることが分かった。

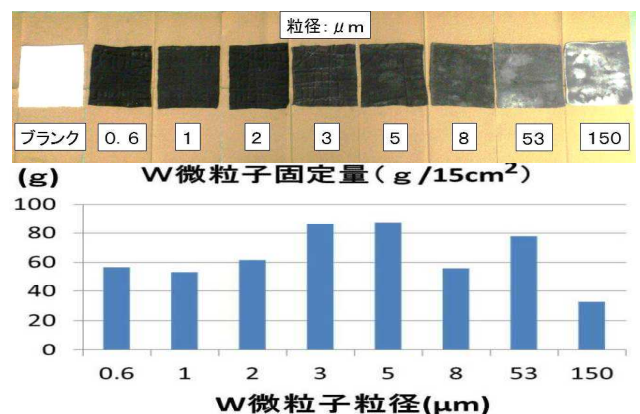



図6　粒径毎の試作品(上)と固定量（下）

２．５．繊維組織によるW微粒子固定量の違い

タングステン布(以下 W 布と略)の繊維組織による W 微粒子固定量の変化を検証した。具体的には W 布の繊維組織が異なる、無地、模様の有る布(タオル)、起毛の多い布(モップ)、の 3 種類に微粒子コーティング法により W 微粒子を固定した。その結果、布の表面積が大きくなる程、W 微粒子の固定足場も増加するため固定総量も増加していった。

模様のある布（タオル）　起毛が多い布（モップ）

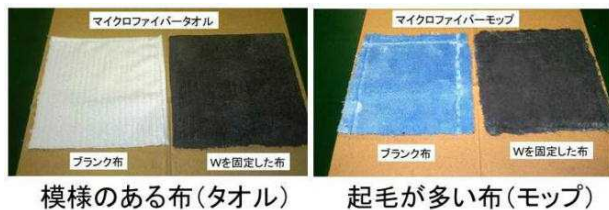



図7　繊維組織によるW微粒子固定量の違い

２．６．マイクロファイバー成型品への適用

繊維形態が布以外の成型品(例として手袋)へ直接微粒子コーティング法の適用を試みた事例を示す(図 7)。

その結果、素材にマイクロファイバーを用いた成形品であれば W 布と同様に微粒子コーティング法により、W 微粒子を後加工で大量に固定(基材重量の約 10 倍に増量)可能であることがわかった。

図8　マイクロファイバー成型品（手袋）への適用事例

３．放射線遮蔽実験

放射線としてガンマ線の遮蔽実験(図 8)を行った。ガンマ線源には ^{137}Cs(10KBq)を使用し、測定機は NaI シンチレーションカウンタ(日立アロカ製 TCS-172B)を使用した。また比較試料として厚さが各 1mm である各種同厚金属板(鉛、鉄、アルミニウム)の測定も行った。測定には、今回作製した放射線遮蔽評価装置を用いた。当該装置の中に NaI プローブと線源を挿入し、線源と検出器の間に試料を入れて(線源－検出器距離 1cm)、線量の変化を測定した。

実験した結果を図 9 と図 10 に示す。W 布 1 枚では鉄以上鉛以下の放射線遮蔽能であった。また W 布を 2 枚重ねると鉛以上の放射線遮蔽能に向上させることが出来た。これより W 布 1 枚の放射線遮蔽能は鉛当量で約 0.5mmPb 相当であると推察した。

線量当量率(μSv/h)	測定1回目	測定2回目	測定3回目	平均値	正味平均値	遮蔽率(%)
環境放射能	0.02	0.02	0.02	0.02	*	*
ブランク布	0.93	0.93	0.94	0.93	0.91	0.0
W布(1枚)	0.88	0.89	0.89	0.89	0.87	4.1
W布(2枚)	0.81	0.82	0.81	0.81	0.79	12.2
W手袋	0.70	0.70	0.69	0.70	0.68	25.1
鉛　板	0.84	0.83	0.84	0.84	0.82	9.6
鉄　板	0.91	0.91	0.90	0.91	0.89	1.8
アルミ板	0.92	0.93	0.92	0.92	0.90	0.0

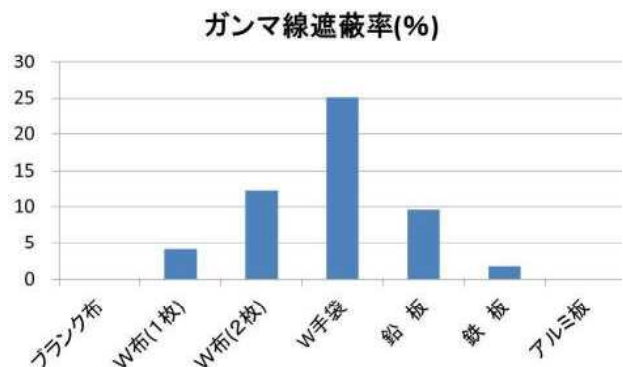



図9　ガンマ線遮蔽実験とその結果

４．結言

今回、W 微粒子コーティング法による化学繊維の高比重化技術の放射線遮蔽製品への応用について検討を行い、以下の知見が得られた。

(1)　起毛を有した化合繊製のマイクロファイバー布を用いた W 微粒子コーティング法により、基材重量の 10 倍以上の W 微粒子固定に成功した。

(2)　試作した W 布 1 枚のガンマ線遮蔽能は、同じ厚

さの金属では鉄以上鉛以下の遮蔽能であった。

(3) W 布は、枚数を重ねることにより放射線遮蔽能の向上が見られた。これにより、1 枚を軽く作り、環境放射線量に応じて W 布を重ねて遮蔽能を加減しながら使用する方法が可能となると考える。

(4) 本製造法により手袋等の成形品へ処理が、糸や布材等の素材以外に成形後の後加工でも可能であることが分かった(ただし、素材が化合繊マイクロファイバーに限る)。これにより、手袋やベスト等の既製品にも W 微粒子をコーティングすることが可能となり、W 布の既製縫製品等への適用も可能であると考える。

(5) 試作した W 布は、基材の柔軟性を保持していた。そのため金属板のような屈曲による金属疲労破断の懸念がない遮蔽材であると考える。

今後はこれらの量産化と実用化を目指す予定である。

謝辞

本研究でご指導を頂きました福島大学共生システム理工学類産業システム工学専攻 佐藤理夫教授にここに厚く感謝致します。

参考文献

1)吉田正尚：" 新機能付与高付加価値糸及び繊維の開発 "、福島県ハイテクプラザ試験研究報告、pp.51-53、2006

軽くて使い易い放射線遮蔽材料の開発
－線量率による表面汚染測定と遮蔽の評価－

Development of a light and easy-to-use radiation shield

-Measurement of surface contamination and assessment of shield by dose rate-

いわき技術支援センター機械・材料科　　佐藤善久　吉田正尚

工業製品の放射性汚染測定や遮蔽材料の評価を線量率で行う方法を検討し、次のような成果を得た。1)遮蔽ブースを設計・製作し、事故による影響を取り除いた本来の正確な測定が可能になった。2)下限数量以下の密封線源(^{137}Cs　10kBq)を用いて、これまでは特別な施設がなければ実施できかなった遮蔽材料の遮蔽効果を測定するシステムを構築した。3)ハイテクプラザが、国際的にも重要になっているシンチレーションサーベイメータを用いた放射能汚染の測定にも対応可能となったことが確認できた。

Key　words:遮蔽ﾌﾞｰｽ、鉛、方角、遮蔽効果、下限数量、散乱、表面汚染検査

１．緒言

福島第一原子力発電所の事故以来、当支援センターも工業製品の放射性表面汚染を測定してきた。JIS 規格に則って計数率(cpm)を測定することで、県内企業が生産した工業製品の安全を発信してきた。また、企業からは放射線に関する問い合わせや要望も寄せられた。特に、一般に浸透している線量率(Sv/h)を用いた放射性汚染測定や遮蔽材料の評価への要望が多く、ハイテクプラザも対応を検討した。

放射性表面汚染の測定については JIS に規定があり、国際的にも整合性がある [1]。その方法は計数率や表面汚染密度(Bq/cm^2)によるものであり、線量率による方法はない。また、遮蔽材料の評価については参考になる規定はあるが、それらは特殊な線源や設備がなければ実施できないものである。

そこで本研究では、次の課題に取り組んだ。

① バックグラウンドに検出限界を加えた値と測定値を比較することで汚染の判定ができる。よって、バックグラウンドを低減して事故以前と同等にすることで、より正確な測定ができる。そこで、測定室のバックグラウンドを事故以前と同等にするため、高い放射線吸収効果を有する鉛シートと、軽量で丈夫なアルミフレームを用いた遮蔽ブースを設計・製作する。遮蔽ブースによって、当初の線量率 0.1μSv/h を 0.08μSv/h に低減する。

② 比較的に入手が容易な線源を用いて、遮蔽材料を評価するための治具を設計・製作する。治具と遮蔽ブースを用いて遮蔽効果を評価するシステムを構築する。

③ 測定方法の現状を把握するため、日本と福島県の輸出先上位 5 カ国の規制状況や国内機関等の対応を調査し、線量率による放射能汚染測定についてまとめる。

２．遮蔽ブースとバックグラウンドの低減

２．１．線量の低減と鉛の厚さ

バックグラウンドは主に透過力が高いγ線によるものと考えられるため、次の計算式を用いた。

$$I=I_0e^{-\mu d}$$

I ：吸収体を通過した後のγ線の線量率(Sv/h)

I_0 ：吸収体を通過する前のγ線の線量率(Sv/h)

μ ：線減衰係数(cm^{-1})

d ：吸収体の厚さ(cm)

この結果、線量率を 0.08μSv/h に減衰させるために必要な鉛の厚さは 1.7mm であることが示された。なお、鉛の密度 ρ=11.35g/cm^3、エネルギー 0.6MeV のγ線における線減衰係数 μ=0.1178cm^2/g(アイソトープ手帳 11 版より)とした。

次に、測定室全体を鉛で覆う状況を想定しながら、その厚さに伴う線量率の変化を実験で求めた。実験にはアロカ社製シンチレーションサーベイメータ TCS-172B を用いた。シンチレーションプローブ(以下「プローブ」と呼ぶ)、に鉛シートを設置してバックグラウンドを実測した。その結果、鉛の厚さと線量率との間には図 1 に示すような関係があった。また、実

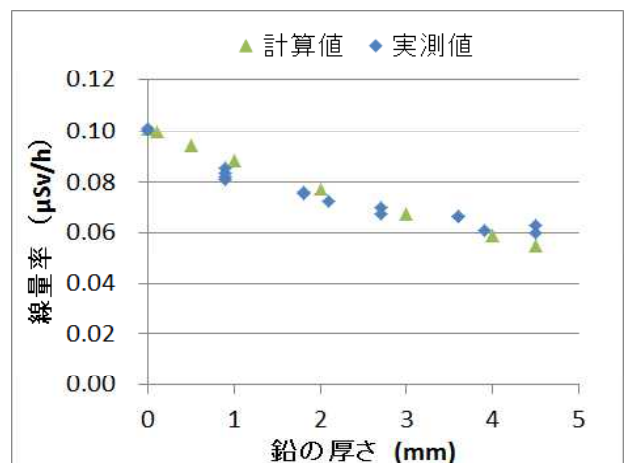



図1　鉛の厚さとバックグラウンド

測値は計算値と一致していることがわかった。この結果に加えて鉛シートの入手や加工性をも考慮すると、必要な鉛の厚さは 2mm と考えた。

２．２．方向と線量率

屋内で検出される放射線の多くは屋外から入射すると考えられる。壁や窓は放射線の吸収体となるため、屋内でのバックグラウンドは屋外に比べて低くなる。一般的に、建物は場所毎に壁や窓の設置状況が異なるので、それに伴って屋内の線量率にも差が生じる場合があると考えられる。当センターの 2 階にある測定室は表 2 に示すように、各方角に測定室の床方向「下」と同じく天井方向「上」を加えた 6 つの方向毎に設けられている壁等の設置数に伴って線量率も異なると予想される。線量率が高い方向に遮蔽材を設置することで効果的にバックグラウンドを低減できると考えるので、6 つの各方向の線量率を測定した。

表2　測定室周辺の状況

方向＼設置数	東	西	南	北	下	上
壁	4	2	1	2	1	1
窓	―	1	1	―	―	―
その他	山側	階段	―	会議室等		屋上

測定には、図 3 に示すようなプローブを用いた。検出感度が高い先端を除いて、厚さ約 10mm の鉛を設置して先端方向の検出感度を高めるようにした。測定する方向にプローブの先端を向けて、各方向の線量率を計測した。

図3　測定に用いたプローブ

その結果、図 4 に示すように壁が少ない南側で比較的に高い線量率が確認された。床と天井方向を除いて、壁の数が多い方向ほど線量率が小さくなる傾向があった。この結果より、南側への鉛シートの設置が特に効果的と考えられることがわかった。

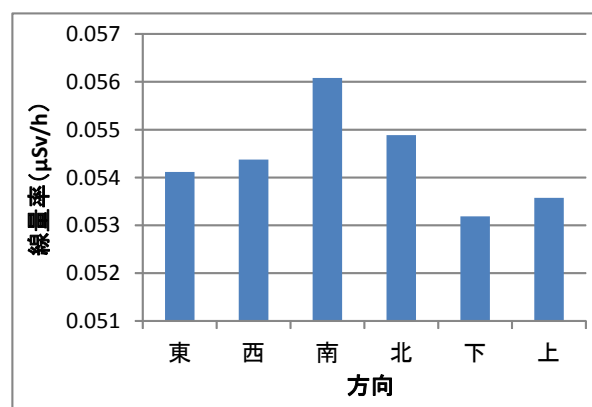



図4　方向毎の線量率

２．３．遮蔽ブースの設計・製作

測定業務は試験体毎に測定台上に設置して行われるので、作業者と測定台の周辺のみを鉛で囲むことでバックグラウンドは低減できると考えた。また、持ち込まれた複数の試験体を 1 個ずつ置き換える必要があるため、担当者が測定台の北側で頻繁に作業を行う。更に、依頼者は測定の状況を直接に見学することができるので、測定台や測定者の周辺を全て囲むことは測定業務の妨げや作業効率の低下になる。そこで、線量率や作業性を考慮して、北側と照明がある天井側を解放した遮蔽ブースを設置することにした。遮蔽ブースの寸法は、測定者と測定台にとって十分な広さの縦・横共に 1,880mm にした。天井の高さまで鉛を設置するため、高さはそれと同じ 2.7m にした。骨組みには軽量なアルミフレームを支柱として用い、合計 2mm の厚さとなる鉛シートをボルトで固定する構造とした。また、設置する鉛シートの総重量は約 400kg にもなるので、市販の有限要素法プログラムを用いて解析し、部材や構造を最適化した。その結果、静的な条件での変位量は極わずか(0.1mm 以下)で、測定作業には支障がない強度を有するものにできた。図 5 に構造解析と製作した遮蔽ブースを示す。

図5　構造解析(左)と製作した遮蔽ブース(右)

遮蔽ブース内に設置した測定台上でバックグラウンドを測定したところ、目標とした 0.08µSv/h に低減できたことがわかった。

３．遮蔽効果の評価法

３．１．低放射能を用いた評価

放射線遮蔽材料の評価方法には、JIS　Z4501・Z4819(K6736)に掲載されている鉛等量試験方法がある。それらに用いる試験装置は、線源と検出器との距離が 1m 以上設けられている。しかし、今回は下限数量以下の密封された放射能標準 γ 線源(日本アイソトープ協会製 ^{137}Cs10kBq、以下「密封線源」と呼ぶ)を用いるので、その距離では線量が著しく減衰して測定できない。

他の線源同様に適正な維持管理は必要であるが、密封線源は比較的に入手も容易で利便性の高い線源である。また、放射能の大きさにかかわらず、散乱等の基本的な現象は同様に発生していると考えられるので、密封線源を活用できれば、より安価で安全な評価ができる。そこで今回は、密封線源を用いて遮蔽材料の遮蔽効果を評価するシステムを構築するために必要な評価装置を製作した。

３．２．評価装置の設計・製作

図 6 に示すように、評価装置の仕組みは密封線源と検出器との間に設けられたギャップ内に遮蔽材料を設置して線量を測定するものである。遮蔽効果は遮蔽材料を設置せずに得られる初期の線量率に対して、遮蔽材料による減衰量が占める割合で示すことができると考える。また、JIS 同様に鉛の減衰量と比較することで、鉛等量を求めることもできる。

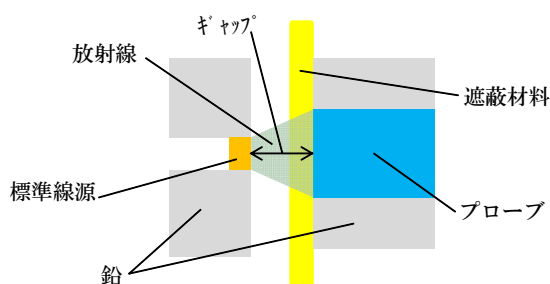



図6　遮蔽性能評価装置のイメージ

標準線源-プローブ間の距離は想定される遮蔽材料の最大の厚さである 10mm とした。また、バックグラウンドの低減による検出感度向上のため、プローブの側面にも厚さ 30mm 以上の鉛を設置することにした。製作した評価装置を図 7 に示す。遮蔽ブースを併用することで構成する評価システムのバックグラウンドは 0.02µSv/h であった。また、初期の線量率は 0.91µSv/h であった。

図7　製作した評価装置

４．放射性汚染検査の現状

４．１．輸出相手国の現状

福島県と日本の工業製品の輸出先の中で、金額の上位を占める 5 カ国[2)3)]にはコンテナや輸入貨物に対する規制値があり、多くは表面汚染密度によるものである[4)]。しかし、中華人民共和国と台湾は線量率で規制している。前者は一次検査の規制値にバックグラウンドの 3 倍を規定している。後者は 0.2µSv/h の線量率を規定している。それらの規制値の多くは国際原子力機関(IAEA)の安全基準等にも同様に掲載されている。線量率の測定法は、可搬性の高いサーベイメータを用いてコンテナや貨物から放射される γ 線の 1cm 線量等量率を測定するものと考えられる。

４．２．国内の現状とまとめ

港湾における輸出コンテナや船舶に関して、国土交通省が γ 線の 1cm 線量等量率による検査を行うためのガイドラインを定めている。国内では多くの機関がこれに則った測定をしていると考えられる。

日本貿易振興機構(JETRO)の発表による国内の放射線検査機関[5)]から、任意に 10 社程度を選択して聞き取り調査を行った。その結果、ほとんどの機関が製品周辺の γ 線の線量測定や検査に対応していることがわかった。また、試験方法や判定には国土交通省のガイドラインや国際原子力機関が発行している手順書に従っている場合が多かったが、測定箇所や規制値については独自のノウハウや基準を設けている例もあった。

γ 線は透過力が高いので、コンテナや梱包内部の汚染物質から発生する放射線は外側にも放出されやすい。よって、γ 線を測定することで、大型で大量の貨物を開梱せずに行える効率的な検査が期待できる。しかし、測定の際には容器や梱包材による放射線の減衰は避けられない。また、試験体の量に伴う変動も予想される

ため、製品の放射能汚染を正確に測定できない場合もある。さらに、線量率を計数率等に換算するためには多くの条件がある[6)]ので、現状では、線量率の測定とJIS の放射性表面汚染測定とのデータの互換性は無いので、必要に応じて使い分ける必要があると考える。

５．結言

工業製品の放射性汚染測定や遮蔽材料の評価を線量率で行う方法を検討し、次のような結果を得た。

(1) 放射線測定室を福島第一原子力発電所の事故前と同等の線量率とするために、遮蔽ブースを設計・製作した。その結果、目標とする 0.08μSv/h とすることができた。これによって、事故によるバックグラウンド上昇の影響を取り除いた本来の正確な測定が可能になった。

(2) 比較的に入手が容易な下限数量以下の密封線源(^{137}Cs10kBq)を用いて、これまでは高い放射能とコンクリートや鉛で遮蔽された特別な施設がなければ実施できかなった遮蔽材料の遮蔽効果を測定するシステムを構築した。これによって、ハイテクプラザや県内企業が開発した材料の遮蔽効果の測定を簡便に行うことが可能となり、今後の技術開発に非常に有益な成果が得られた。

(3) 線量率(Sv/h)による工業製品表面の放射能測定への対応を検討するため、主要な輸出先と国内の現状をまとめた。これによって、ハイテクプラザは国際的にも重要になっている、シンチレーションサーベイメータを用いた放射能汚染の測定にも対応可能となったことが確認できた。

謝辞

本研究の実施にあたり、独立行政法人日本原子力研究開発機構の遠藤 章様には放射線防護で用いられる線量についてご指導を頂きました。シースピリッツ合同株式会社の桑原宏之様には工業製品の放射能汚染に対する海外の反応とその対策の現状についてご指導を頂きました。この場を借りて、感謝申し上げます。

参考文献

1)柚木 彰：“ 放射能測定の信頼性について ”、第 25 回国際計量計測展講演資料、pp.8、2012

2)小名浜税関支署：“ 輸出入国別貿易額(福島県)”、平成 22 年福島県の貿易概況のポイント(確定値)、pp.7、2010

3)財務省：“ 地域(国)別輸出入 ”、貿易統計平成 24 年上半期確報、pp.2、2012

4)国土交通省：“ 主要国・地域における放射線検査・規制の状況 ”、国土交通省 HP、2012

5)日本貿易振興機構：“ 放射線検査機関全般及び工業製品 “、日本貿易振興機構 HP、2012

6)産業技術総合研究所：“ 放射能面密度から、線量率の推定 “、ケーススタディ、pp.3-6、2011

軽くて使い易い放射線遮蔽材料の開発

－陶器瓦破砕物を用いた遮蔽による空間線量率の低減－

Development of a light and easy-to-use radiation shield

-Decrease of environmental radioactivity level by shielding of crashed ceramic roof tiles-

技術開発部工業材料科　　宇津木隆宏　伊藤弘康

陶器瓦破砕物で住宅の周囲を覆うことにより覆土と同じように空間線量を低減させる手法について検討した。施工実績のある厚さである 8cm の陶器瓦破砕物について標準ガンマ線源を用いた遮蔽率測定を行い、他の遮蔽材と比較してどの程度の遮蔽効果があるのかを調べるとともに、福島県内郡山市の住宅において陶器瓦破砕物の施工前後の空間線量測定を行い、その効果を確認した。

Key　words:陶器瓦、放射線、遮蔽、空間線量

１．緒言

平成 23 年 3 月の東京電力福島第一原発の事故以降、住環境の空間線量率を除染によって下げる取り組みがなされている。覆土により放射線を遮蔽する方法も除染の一つであり、表土の除去と異なり廃棄物を出さないメリットがあるが、表土除去と覆土 [1]や、天地返しと覆土 [2]といった複合的で効果の高い除染を目指した研究例が多く、覆土のみの研究例は少ない。

破砕した陶器瓦を庭などのガーデニング用資材として利用することは、原発事故以前から徐々に広まっており、独特の外観や多孔質性を活かした諸特性が評価されている。

陶器瓦は原料が粘土であり、普通の土と比べてガンマ線の遮蔽効果に違いは無いと考えられるが、実際に効果を確認し施工主に対する正確な情報を伝えることは工事を請け負う側にとって必要なことである。

そこで本研究では施工厚さである 8cm の陶器瓦破砕物のガンマ線遮蔽率を調べるとともに、施工現場において空間線量の変化を調査した。

２．実験

２．１．陶器瓦破砕物のガンマ線遮蔽率測定

２．１．１．遮蔽材の作製

遮蔽材としては下記のものを用いた。

- 三州産陶器瓦破砕物(粒径 7~15mm)
- 福島産いぶし瓦破砕物(粒径 7~15mm)
- 中国産黒那智玉砂利(粒径 10~16mm)

これらを厚さ 8cm に敷き詰めた状態で遮蔽率の測定を行った。また三州産陶器瓦破砕物については 4cm に敷き詰めた状態と、水に浸した後、したたらない程度に水を切ってから 8cm に敷き詰めたものについても測定を行った。

２．１．２．遮蔽率測定時の器具構成

遮蔽率測定時の器具構成を図 1 に示す。上部に日本アイソトープ協会製放射能標準ガンマ線源 Co-60(公称放射能 100kBq)、下部に日立アロカメディカル製シンチレーションサーベイメータ TSC-172B を配置し、その間に遮蔽材を配置した．遮蔽材が無い状態(遮蔽材を入れる容器のみ)でのサーベイメータの値が約 0.9μSv/h になるように標準線源とサーベイメータの距離を調整した。

図1　遮蔽率測定時の器具構成

２．１．３．遮蔽率の計算

遮蔽材一つにつき以下の 4 つの状態で測定を行った。サーベイメータの時定数を 30 秒とし、5 分間の平均値をそれぞれ A、B、C、D(単位：μSv/h)とした。

A：　ガンマ線源無し、遮蔽材無し
B：　ガンマ線源有り、遮蔽材無し
C：　ガンマ線源有り、遮蔽材有り
D：　ガンマ線源無し、遮蔽材有り

遮蔽率は以下の式で算出した。

$$遮蔽率(\%) = \frac{(B-A)-(C-D)}{(B-A)} \times 100$$

２．１．４．容器あたりの重量の測定

図 1 に示す容器に遮蔽材を 8cm 敷き詰めた時の重量を測定した。

２．２．庭への施工

福島県郡山市の住宅の庭にガーデニング目的で庭の

一部を三州産陶器瓦破砕物を 8cm で覆う事例があったため、施工前後の空間線量率(単位：μSv/h)をシンチレーションサーベイメータで測定した。施工は縦横約 3m の範囲で行われ、測定は庭の中心部の表面部と地表から 1m で行った。

３．結果と考察

３．１．陶器瓦破砕物のガンマ線遮蔽率

ガンマ線の遮蔽率測定結果を表 1 に示す。陶器瓦 8cm では 27.0%であり、陶器瓦 4cm の 12.4%の 2 倍に近い値となっていることから、厚さと遮蔽率の相関性の点では妥当な値となった。いぶし瓦 8cm では遮蔽率は 17.6%、玉砂利 8cm では遮蔽率は 41.0%であり、遮蔽材の違いによって遮蔽率が大きく変化した。陶器瓦 8cm に水を含ませた場合は水を含まない場合と比べて 0.9%遮蔽率が高くなったが、遮蔽材の材質や厚さの違いによる遮蔽率の変化に比べればその違いは小さかった。

各遮蔽材の容器あたり重量の測定結果を表 2 に示す。玉砂利、陶器瓦、いぶし瓦の順に重く、遮蔽率と同じ傾向であった。表 1 の遮蔽率を容器あたり重量で割った値はいずれの遮蔽材でも 3 に近い値となり、いずれも通常の土砂由来のものであることを考えると妥当な結果である。つまり、ガンマ線の遮蔽率を高めたい場合には、かさ密度が大きなものを用いればよいということになる。

表1　ガンマ線の遮蔽率測定結果

遮蔽材	陶器瓦 4 cm	陶器瓦 8 cm	陶器瓦 8 cm含水	いぶし瓦 8 cm	玉砂利 8 cm
遮蔽率/%	12.4	27.0	27.9	17.6	41.0

表2　容器あたり重量の測定結果

遮蔽材	陶器瓦 8 cm	いぶし瓦 8 cm	玉砂利 8 cm
容器あたり重量/kg	8.2	5.9	13.6
遮蔽率÷容器あたり重量/kg^{-1}	3.3	3.0	3.0

３．２．庭への施工

施工前後の外観を図 2 に示す。施工に際して除草や清掃を行っているが、その面積は小さいことがわかる。施工前後の空間線量率を表 3 に示す。地表部では施工前には 0.88μSv/h であった空間線量率が施工後には 0.48μSv/h と半分近くになった。一方、地上 1m では施工前には 0.57μSv/h であった空間線量率が施工後には 0.46μSv/h となり、20%程度の減少であった。これは、地上 1m の方が陶器瓦破砕物で覆われていない部分からのガンマ線の影響が大きいためと考えられる。

図2　陶器瓦破砕物の施工（左：施工前　右：施工後）

表3　施行前後の空間線量率（単位：μSv/h）

		施工前	施工後
測定場所	地表部	0.88	0.48
	地上1 m	0.57	0.46

４．結言

本研究では 8cm の陶器瓦破砕物のガンマ線遮蔽効果と庭への施工について調査を行った。その結果、以下の結論を得た。

- コバルト 60 のガンマ線を 27.0%遮蔽する。
- 水を含んだ場合、遮蔽率は 0.9%大きくなる。
- 他の遮蔽材との効果の違いはかさ密度の違いで説明できる。
- 福島県の住宅の庭に縦横約 3m の範囲で施工した結果、地表部で空間線量率が半減した。

参考文献

1)田川明広ほか：“ 平面除染による空間放射線量率の評価 ”、日本原子力学会和文論文誌、11(2)、pp.111-117、2012

2)杉浦広幸ほか：“ 福島県北の庭園・空き地における深土を用いた土壌入れ替えおよび土壌被覆による除染 ”、日本放射線安全管理学会誌、11(1)、pp.78-85、2012

放射性セシウムの除染(物理的、化学的手法による分離・濃縮)方法の開発

Development of a method for decontamination of radioactive cesium
(separation and concentration by physical and chemical methods)

技術開発部工業材料科　　　　　杉内重夫　伊藤弘康
技術開発部プロジェクト研究科　　加藤和裕　西村将志

東京電力福島第一原子力発電所事故により大量に放出された放射性セシウムは環境中に強固に固定化され、高圧洗浄水を用いた方法では、除染が困難な状況となりつつある。本研究では環境中で難溶化した放射性セシウムを酸などを用いて化学的に溶出させる手法を検討するとともに、県内産鉱物や震災がれきが吸着剤として利用できるか検証するため基礎的実験を行なった。

Key　words:放射性セシウム、除染、大谷石、

１．緒言

平成 23 年 3 月に発生した東京電力福島第一原子力発電所事故により大量の放射性物質が放出され、福島県内を始め、東日本の広範囲にわたって土壌、河川、海洋の汚染を引き起こした。

事故後約 2 年が経過した現在、セシウムは土壌や構造物に難溶性の形態となって強固に固定化され、高圧洗浄機を用いた除染では、除去が困難な状況に移行しつつある。これまでにも多くの除染剤が開発されているが、これらは研究室や放射性物質利用施設で使用するためのものであり、福島における汚染物のように汚染されてから長時間が経過した状態での使用は想定されていない。そこで本研究では、環境中の放射性セシウムの化学的特性を明らかにすることにより、適切な除染方法を提案するための検討を行った。

また、水中に溶解したセシウムの吸着にはゼオライトが有効とされているが、ゼオライトは産地により組成や特性が異なるため、それぞれ有効性の確認が必要である。一方、須賀川市では地震で大谷石造りの蔵や塀が倒壊し、その瓦礫処理が課題となっている。大谷石はゼオライトを含有し、セシウム吸着能があることが期待される。そこで本研究では、福島県内鉱物資源や震災瓦礫となっている大谷石によるセシウム吸着実験を行い、それらの吸着剤としての有効性の検討も行ったので報告する。

２．実験方法

２．１．除染実験

２．１．１．汚染物質の採取

汚染物質の採取はハイテクプラザ敷地内で実施した。目開き 0.71mm 及び 5mm の 2 種の篩で、粒径 0.71mm ~ 5mm の「砂」と、粒径 5~10mm の「砂利」を採取した。粒径 10mm を超える大きなものは目視で選別した。砂利、砂は軽く水洗しゴミや細粒を除去後、恒温槽で 105 ℃、24 時間乾燥し試験に供した。

２．１．２．市販洗浄剤による除染試験

市販の家庭用洗浄剤 3 種（台所用、窓用、トイレ用)と理化学用洗浄剤 5 種の除染効果を調べた。各洗浄剤を所定倍率で希釈した液 100cm^3 に砂利 40g を加え、室温で恒温振とう水槽中で処理をした。処理後、砂利と処理液を分離し、砂利の放射性セシウム濃度を測定した。なお本報告中では、放射性セシウム濃度はゲルマニウム半導体検出器型放射能測定装置で測定し、^{134}Cs と ^{137}Cs の合計値で表すことにする。

２．１．３．無機酸による除染試験

無機酸としては塩酸、硫酸、硝酸を使用した。所定濃度の酸溶液 100cm^3 に砂利 40g を加え、ホットプレート上で、所定時間沸騰させながら処理をした。処理後、砂利と処理液を分離し、砂利の放射性セシウム濃度を測定した。

２．１．４．塩類及びクエン酸の影響

数種類の塩類の水溶液 100cm^3 に砂 10g を加え、70 ℃で 3 時間恒温振とう水槽で振とうしながら処理をした。処理後、砂と処理液を分離し、処理液の放射性セシウム濃度を測定した。また処理液にクエン酸を加え、その影響を調べた。

２．２．吸着実験

２．２．１．吸着剤

北海道仁木産のゼオライトを比較対象とし、各種吸着剤の特性を評価した。県内産鉱物資源としてモルデナイトを、震災瓦礫として、大谷石をモデル物質とした。

２．２．２．非放射性セシウムによる吸着評価

測定装置の汚染を防ぐため、実験初期段階では非放射性セシウムを用いて、各種吸着材の性能評価を実施した。吸着剤に、非放射性セシウム溶液を添加し、pH を調整し撹拌する。上澄み液をろ過し、ろ液中のセシウム濃度をイオンクロマトグラフで測定し、吸着

性能を評価した。なお、吸着率は以下の式により算出した。

$$吸着率(\%) = \frac{\{添加したセシウム量(ppm) - ろ液中のセシウム量(ppm)\}}{添加したセシウム量(ppm)} \times 100$$

非放射性セシウムは、和光純薬工業製原子吸光分析用標準液(1,000mg/L)を用いた。また、イオンクロマトグラフは、日本ダイオネクス製、ICS-2000 を用いた。

２．２．３．放射性セシウムの吸着試験

本報告中、除染実験により砂利から溶出した放射性セシウムを含む水溶液を使用した。吸着手順は非放射性セシウムを用いた実験と同様である。ろ液中の放射性セシウム濃度はゲルマニウム半導体検出器型放射能測定装置で測定した。

３．結果および考察

３．１．除染実験

３．１．１．砂利の放射能分析

採取した砂利から 21,000 Bq/kg の放射性セシウムが検出された。一般に土壌の汚染は、放射性セシウムが粘土鉱物にイオン交換反応で吸着されておきていると言われている。しかし今回の測定では砂利でも放射性物質が検出されており、粘土以外の鉱物にも放射性セシウムが付着していることがわかった。

３．１．２．市販洗浄剤による除染実験

8 種類の市販洗浄剤と蒸留水による除染実験を行い、その結果、蒸留水も含め、いずれの場合でも除染後の砂利の放射性セシウム濃度は、12,000~15,000Bq/kg となった。家庭用塩酸系洗浄剤でやや効果があると思われたが、除染剤の種類による差はほとんど認められなかった。

３．１．３．酸による除染

前節の検討を踏まえ、各種無機酸を使用して、より厳しい条件で除染実験を行った。ここでは処理前の放射性セシウム濃度が 15,000Bq/kg の砂利を使用した。結果を表 1 に示す。

表1　酸による除染効果

酸	砂利の放射能濃度($^{134}Cs + ^{137}Cs$)　Bq/kg
塩　酸	2,000
硫　酸	3,000
硝　酸	2,500

酸処理により砂利から 12,000~13,000Bq/kg の放射性セシウムが溶出した。除染後、処理液が黄色に変化し、また砂利の色も変化したことから、砂利の表面が溶解して除染が進んだと思われる。しかし処理回数、処理時間を変化させても一定量のセシウムが残留し、酸に安定な物質に吸着したセシウムもあることが示唆された。

３．１．４．塩類及びクエン酸添加による効果

放射性セシウム除染技術の開発には、その化学的特性を知る必要がある。そこで各種塩等の存在下での放射性セシウムの溶出挙動を調べた。ここでは放射性セシウム濃度が 16,000Bq/kg の砂を使用した。表 2 に種々のアンモニウム塩溶液で処理したときの放射性セシウムの溶出量を示す。なお、各溶液は陰イオン濃度が 0.3mol/L となるよう調製した。

表2　陰イオンの除染効果

溶液	処理後溶液の放射能濃度($^{134}Cs + ^{137}Cs$)　Bq/kg
蒸　留　水	8.5
塩化アンモニウム溶液	360
硫酸アンモニウム溶液	300
酢酸アンモニウム溶液	330

蒸留水で処理をした時に対し、アンモニウム塩溶液を用いると放射性セシウム溶出量が増加したが、陰イオンの種類による差は認められなかった。

次に陰イオンを塩化物イオンに固定し、陽イオンの種類の影響を検証した。結果を表 3 に示す。なお、各溶液は陽イオン濃度が 0.3mol/L となるよう調製した。

表3　陽イオンの除染効果

溶　液	処理後溶液の放射能濃度($^{134}Cs + ^{137}Cs$)　Bq/kg
蒸　留　水	8.5
塩化ナトリウム溶液	170
塩化カリウム溶液	260
塩化セシウム溶液	330
塩化アンモニウム溶液	360
塩化マグネシウム溶液	330
塩化カルシウム溶液	73
塩化アルミニウム溶液	140
塩化ランタン溶液	140

その結果、陽イオンの種類が放射性セシウムの溶出挙動に影響を与えることが分かった。

図 1 に処理後の溶液中放射性セシウム濃度と各陽イオンの極限当量イオン導電率の関係を示す。イオン導電率が大きいイオンすなわち水和イオン半径が小さいイオンが存在すると、セシウム溶出量が増加する傾向が見られた。粘土は水和イオン半径が小さいイオンほど吸着しやすいため、セシウムが強固に固定されると言われている。本研究で使用した砂についても同じ傾向が見られ、放射性セシウムの一部はイオン交換が可能な形態となっていることが分かった。

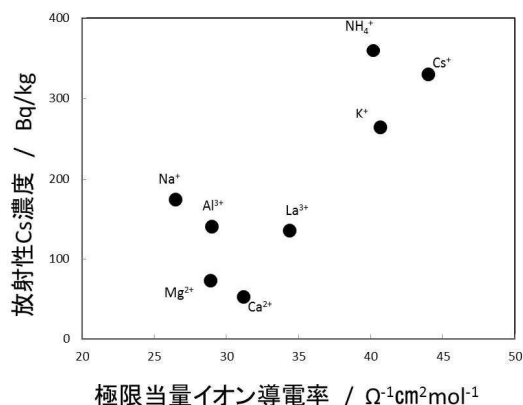



図1　極限当量イオン導電率と放射性セシウム溶出挙動の関係

次に放射性セシウムの除染に効果があるといわれているクエン酸溶液での試験を実施した。結果を表 4 に示す。蒸留水と比較し、クエン酸溶液では放射性セシウムの溶出量が増加した。

さらにクエン酸と塩化アンモニウムの両者を所定量溶解した溶液で溶出試験を行った。結果を図 2 に示す。塩化アンモニウムとクエン酸をそれぞれ単独で使用した場合と比較し、両者を混合すると放射性セシウムの溶出量が、より増加することが分かった。

なお本実験の条件下では、溶液中の放射性セシウム濃度が 400Bq/kg であったとき、砂から水相への放射性セシウムの移行率は 25%となる。

表4　クエン酸の除染効果

溶 液	処理後溶液の放射能濃度($^{134}Cs + ^{137}Cs$)　Bq/kg
蒸留水	8.5
10%クエン酸溶液	240

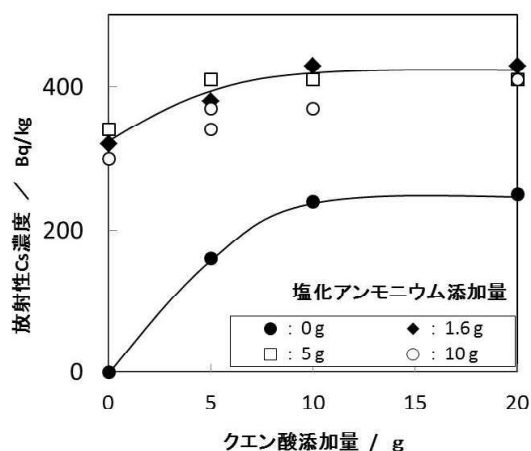



図2　クエン酸、塩化アンモニウムの添加量と放射性セシウムの溶出挙動の関係

３．２．吸着実験

３．２．１．撹拌時間の影響

各種吸着材に対し撹拌時間変化による吸着への影響を評価した。結果を図 3 に示す。

ゼオライト、モルデナイトともに撹拌 5 分でほぼ 100%添加セシウムを吸着することが確認された。大谷石では、撹拌 30 分以上で 90%以上のセシウムを吸着することが確認された。この結果より、実サンプルの吸着実験においては撹拌時間を 3 時間以上とすることとした。

３．２．２．pHの影響

pH を変化させた場合の吸着率変化を図 4 に示す。なお、pH の調整には 1M 塩酸及び 1M の水酸化ナトリウムを用いた。

全吸着剤ともに酸性からアルカリ性までの広範囲で 90%以上の吸着率を示した。この結果より、放射性セシウムの吸着実験においては特に pH 調整を行わず、実験を進めた。

３．２．３．共存塩による妨害

実試料の吸着においては共存する塩の影響が大きいと考えられる。共存塩による吸着への影響を検証するため、硝酸カリウムを用いて実験を行った。撹拌をする直前に硝酸カリウムを 5g/L となるよう添加し、吸着を行った。結果を図 5 に示す。

共存塩の影響により、ゼオライト、大谷石ともに吸着率が大幅に低下することが確認された。

３．２．４．放射性セシウムの吸着試験

３．１において砂利から溶出させた放射性セシウムを含む溶液を用いて、吸着剤の評価を実施した。

1,350Bq/kg の放射性セシウムを含む塩酸溶液に対し、各種吸着剤をそれぞれ添加し 5 時間撹拌した後、ろ液中の放射性セシウム濃度を測定した。結果を表 5 に示す。なお、pH 調整を行なわなかったため、溶液の pH は約 1 となっている。その結果、ゼオライトとモルデナイトの場合は 0.5g で、大谷石の場合は 1.0g でそれぞれ約 50%の放射性セシウムが吸着した。吸着率が非放射性セシウムでの実験に対し低下したが、これは溶出液中に含まれる種々の共存塩による妨害によるものと考えられる。

また、クエン酸及び塩化アンモニウムを用いた放射性セシウムを 250Bq/kg 含む溶出液に対し、同様に評価を行なった。なお、溶液の pH は約 2 であった。結果を表 6 に示す。その結果、ゼオライト、大谷石ともに放射性セシウムの吸着は認められなかった。溶出液に含まれる共存塩の種類が吸着に大きく影響するものと考えられる。

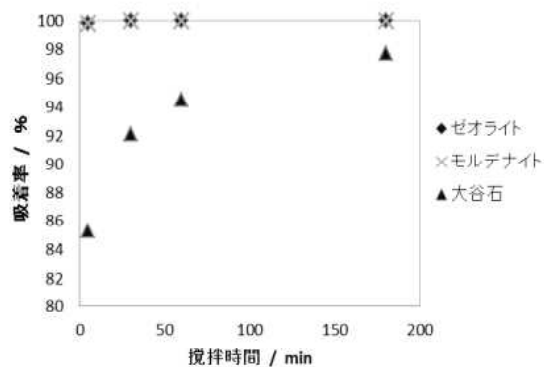
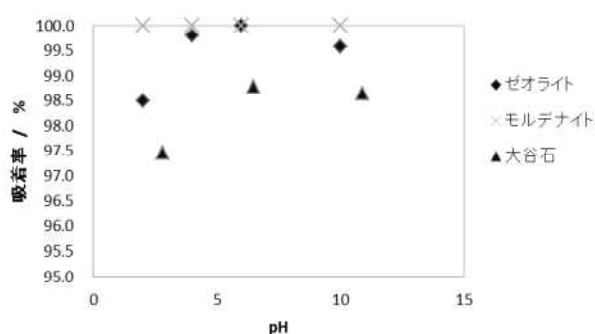



図3　撹拌時間の影響

図4　pHの影響

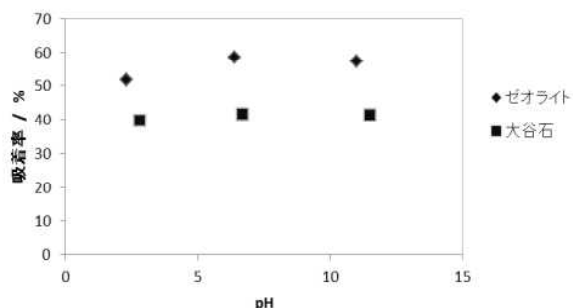



図5　共存塩の影響

表5　塩酸溶液中の放射性セシウムの吸着

吸着剤	ろ液中の放射能濃度 ($^{134}Cs+^{137}Cs$)　Bq/kg	吸着率(%)
無　し	1,350	—
ゼオライト　0.5g	707	47.6
モルデナイト　0.5g	757	43.9
大谷石　1.0g	659	51.1

表6　クエン酸、塩化アンモニウム溶液中の
放射性セシウムの吸着

吸着剤	ろ液中の放射能濃度 ($^{134}Cs+^{137}Cs$)　Bq/kg	吸着率(%)
無　し	250	—
ゼオライト　0.5g	230	8.0
大谷石　0.5g	250	0

４．結言

本研究では、化学的手法を用いた除染方法と福島県内で入手可能な鉱物による放射性セシウムの吸着について調査を行い、その結果、以下の結論を得た。

(1)　環境中の放射性セシウムは、強酸中での煮沸という厳しい条件下でも溶出しない形態が存在する。
(2)　環境中の放射性セシウムの一部は、イオン交換性を持ち、より水和イオン半径の小さいイオンと交換されやすい。
(3)　大谷石が放射性セシウムを吸着する事を確認した。ただし、吸着させる際の溶液の状況により、その吸着量は大きく変化する。
(4)　放射性セシウムは環境中に様々な形態で存在していると考えられるため、それを解明することにより除染の効率化に寄与できると考えられる。

浅部地中熱利用システムの開発

Development of Shallow Ground Thermal Energy System

技術開発部工業材料科　　五十嵐雄大　小柴佳子
技術開発部生産・加工科　平山和弘　吉田英一
日本大学工学部　伊藤耕祐
有限会社住環境設計室　影山千秋

地中熱は太陽エネルギーを起源とした地表面の熱であり、再生可能エネルギーのひとつである。浅部地中熱利用は、地表から 10m より浅い層の熱を利用するもので、従来の地中熱利用よりも低コストでの熱利用が期待できる。そこで、冷暖房・給湯システムをはじめとする浅部地中熱利用システムの実用化が求められている。浅部地中熱利用システムの開発に必要な技術要素を評価するため、浅部地中熱利用ミニモデルを作製し、温度モニタリングが可能な採熱温度測定システムを構築した。

Key words: 浅部地中熱(せんぶちちゅうねつ)、再生可能エネルギー

１．緒言

再生可能エネルギーの一種である地中熱は、地下 200m より浅い範囲にある太陽エネルギー起源の熱であり、地中熱を利用した装置は冷暖房や融雪などを目的として、主に寒冷地で導入されている。

地中熱利用方法は図 1 に示すように、熱交換井と呼ばれる井戸を掘削し、地中を蓄熱槽として利用する。一般的な家庭用エアコンで冷暖房を行う場合、室外機で外気を利用し採放熱を行うが、温度差が小さいため熱交換効率が悪い。地中熱ヒートポンプを利用したエアコンであれば、大気中と地中との温度差が大きいため熱交換効率を高くすることができる。

しかしながら、現在地中熱利用の普及速度は大きくはない。その原因は導入コストが高いことにある。現在施工されている家庭用の地中熱利用方法では 1~2 本の熱交換井を地下 50~150m 程度掘削するため、専用機による掘削工事が必要で高額になる。この問題を解決する方法として浅部地中熱利用があげられる。浅部地中熱利用は、複数本の熱交換井を地表から 10m 程度に鋼製パイルを埋設して地中熱を利用する方法である。熱交換井の埋設深さが浅いため、汎用機を利用して簡単に施工でき導入コストが下がり、地中熱利用の普及拡大が期待できる。

図1　地中熱利用例の模式図

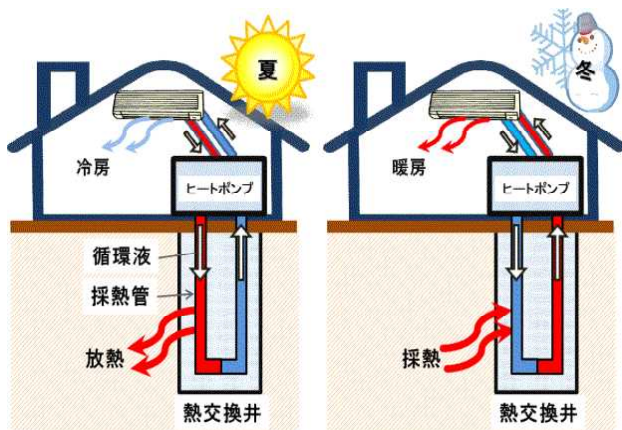
地盤状態にもよるが、地中温度は地表から 10m 以上深い層ではほぼ一定である [1]のに対し、浅部では季節による変動があるため、一般的地中熱利用と浅部地中熱利用では利用条件が異なると考えられる。そこで本研究では、安価で、熱交換効率の高い浅部地中熱ヒートポンプシステムの開発を目的とした。

本研究は日本大学工学部、(有)住環境設計室およびハイテクプラザの共同研究であり、日本大学工学部では住宅用小型地中熱ヒートポンプの開発、(有)住環境設計室ではヒートポンプ用浅部地中熱採熱システムの開発を行う。ハイテクプラザでは、浅部地中熱利用ミニモデルを作製し、本研究において(有)住環境設計室が建設する実証実験住宅との比較を行うこととした。さらにミニモデルを利用し、採熱管材質、循環液の種類を変更させた場合の地中温度分布や採熱量などの測定を行い熱交換効率の高い条件を見出す事を目的とした。本年度は、地中温度分布をより詳細に測定できるミニモデル 2 号機の構築を行い、使用する循環液の最適流量調査に係わる粘度、密度、流量の測定およびそれらを用いた浅部地中熱利用による周囲の地中温度への影響調査を行った。

２．浅部地中熱利用ミニモデルの構築

２．１．浅部地中熱利用ミニモデルの作製

図 2 に浅部地中熱利用ミニモデルの構成図を示す。ミニモデルの寸法は日本大学の浅部地中熱利用実験施設の約 1/10 にした。

地中モデルは、FRP 容器の底面および側面に断熱材を配し、粒度の整った川砂を充填した。容器底部には地中温度調節装置を配し、地中温度を制御可能な構造とした。熱交換井には長さ約 600mm の亜鉛メッキ

鋼管を使用し、交換井中心間隔が約 300mm となるように深さ約 590mm まで 3 本埋設した。採熱用循環配管はヘッダーから内径 2mm のポリエチレン製採熱管を各交換井へと分岐させる構造とした。往水側および環水側のヘッダーは外部の熱の影響を避けるため断熱材により包埋した。循環液は貯水タンクを設け、恒温水槽を用いて任意の温度に制御可能とし、送水用マグネットポンプにより循環させる構造とした。また、送水ポンプにインバータ制御装置を接続し、流量の変更を可能とした。

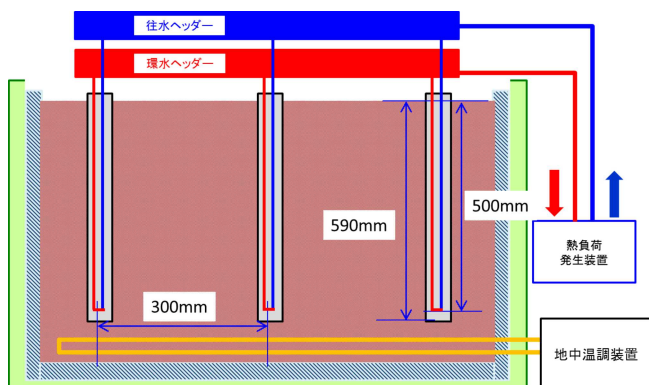



図2　ミニモデルの構造図

２．２．温度計測システムの構築

ミニモデル各所の温度をモニタリングするため、温度測定システムを構築した(図 3)。温度の計測には白金測温抵抗体(Pt100)を使用した。本モデルでは 36 か所まで温度を同時に計測できる構造とした。各 Pt100 は 2 台のデータロガーへと接続されており、通信機器用の監視ソフトウェア「Cacti」[2]により異種複数のデータロガーによる収集データを監視することが可能であり、温度測定点の増設も可能なシステムである。

各温度測定点のデータを 1 分間隔とし、LAN により外部の PC からオンデマンドにグラフ表示するほか、蓄積した測定データは csv 形式で保存可能である。図 4 に温度モニタリングの例を示す。

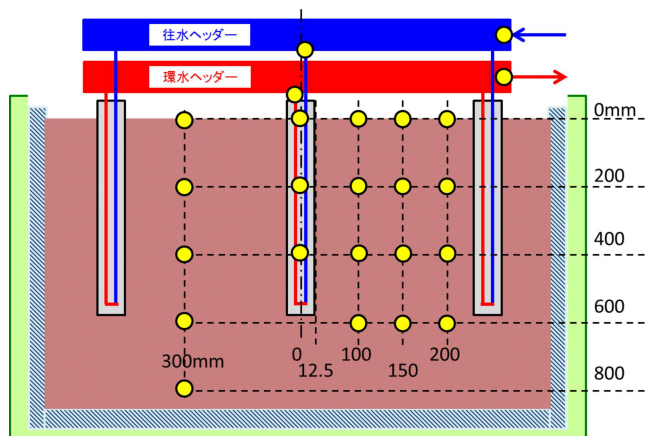
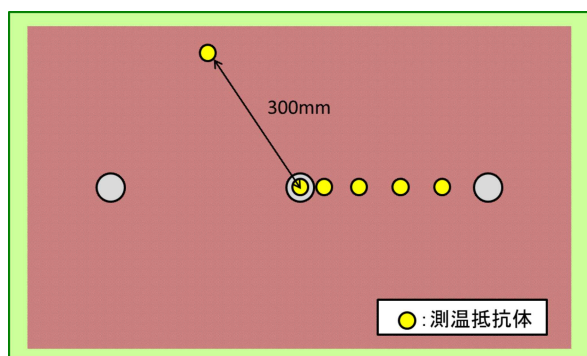



図3　温度測定点

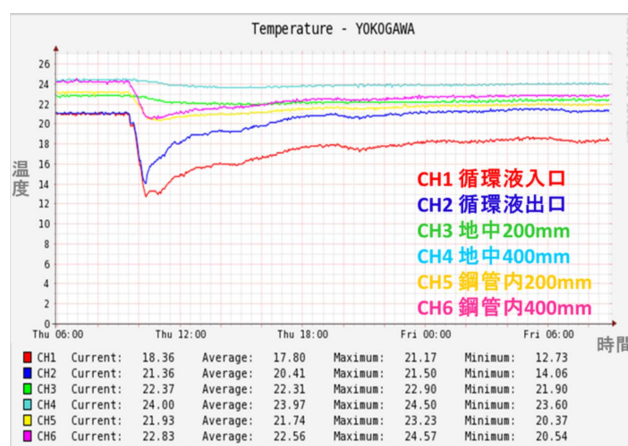



図4　Cactiによる温度モニタリング例

３．実験および結果

３．１．ミニモデルにおける適正流量調査

地中から採熱する循環液は不凍液であるプロピレングリコール(PG)が一般的に利用される。実験は、PG および毒性があるため地中熱ヒートポンプには使用されないが、自動車などで使用されるエチレングリコール(EG)および水の 3 種で適正流量調査をすることとした。

U 字管に流す循環液は、熱伝達の観点から管内を乱流に保つことが望ましく、それを満足するためにはレイノルズ数 Re ≧ 2,000 となる流量で不凍液を循環させる必要がある。逆に流量が大きすぎる場合、循環ポンプ容量増加に伴うコスト高や金属配管の孔食等問題が発生するため、乱流かつ低流量の条件選定が重要となる。そこで、地中熱利用ヒートポンプの導入事例 [1] を参考に、不凍液濃度を 40wt%とし、Re を算出するため必要な粘度および密度を測定した。

粘度は B 型粘度計を使用して測定した。測定は溶液温度が 5 ℃となるように、測定容器の周囲を冷却して行った。また、密度は 100mL のメスフラスコに溶

液を入れ、電子天秤により質量を測定し算出した。測定は室温とした。それぞれの結果および本ミニモデルにおいて Re ≧ 2,000 を満足する場合の最小流量を表 1 に示す。水と不凍液を比較すると、EG で約 2.6 倍、PG は約 3 倍の流量で循環させる必要があることがわかる。

次に、ミニモデルにおける各循環液の流量を測定した。流量の測定は送水ポンプの出力をインバータ制御で 40~60Hz とし、管側ヘッダーから排水される流量をメスシリンダーを用いて 1 分間測定して求めた。なお、循環液温度は貯水タンクにおいて 5 ℃となるよう制御した。それぞれの流量とポンプ出力の相関を表 2 に示す。表 1 の結果と比較すると水-60Hz 以外の値が小さく、乱流にならないことがわかる。これは、ミニモデルのため循環パイプの径が小さいことと、ポンプの容量不足が考えられる。表 2 の流量から得られるレイノルズ数とインバータ出力の相関を図 5 に示す。PG の場合、乱流を満足する 1/4 程度の値であることがわかる。本ミニモデルに対し Re ≧ 2000 を満足する流量を与えるためには、循環液を現在の約 4 倍の流量で循環させる必要があり、循環装置が水圧に耐えられない可能性があるため、循環水を水として実験を行うこととする。

表1　循環液の物性とRe=2,000の流量

	EG	PG	水
粘度[Pa·s]	4.50×10^{-3}	5.10×10^{-3}	1.67×10^{-3}
密度[kg/m³]	1025.9	1046.9	999.97
Re=2,000の流量[m³/s]	1.35×10^{-5}	1.56×10^{-5}	5.24×10^{-6}

表2　ポンプ出力と流量の関係[単位:10^{-6} m^3/s]

溶液 / 周波数[Hz]	EG	PG	水
40	1.73	1.55	2.89
50	2.97	2.73	4.37
60	4.24	3.85	5.39

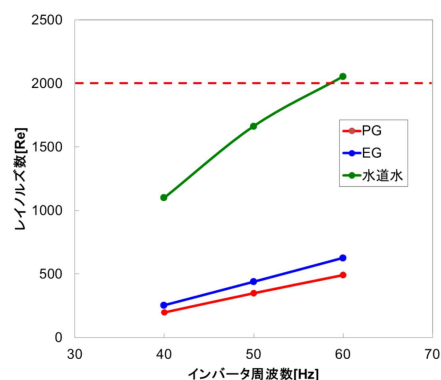
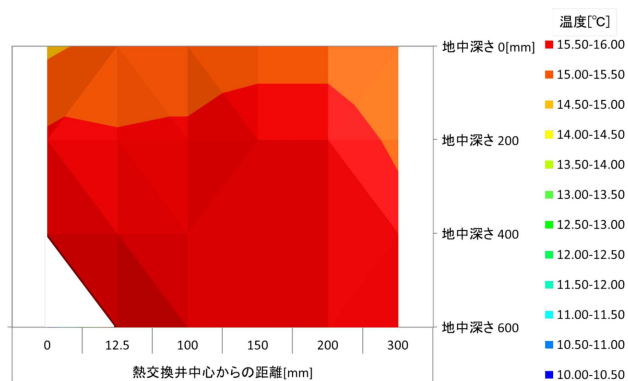
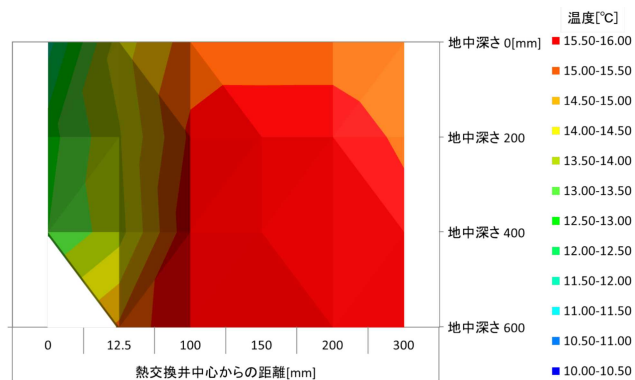



図5 インバータ出力とレイノルズ数の相関

3．2．採熱による地中温度の変化

地中熱ヒートポンプは諸言で述べたとおり、地中に蓄えられた熱を利用して採放熱を行うシステムであるため、熱交換井周囲の地中の温度が変化する。冬であれば採熱を行うため、交換井周辺は冷却され、夏であれば加熱される。浅部地中熱においては複数本の交換井を配することから、交換井同士の距離が重要となる。交換井同士の距離が近いと熱の奪い合いが発生し、逆に遠いと交換井の数が減り効率が悪い。そこで、浅部地中熱を利用した場合にどの程度地中温度が変化するかを調査した。

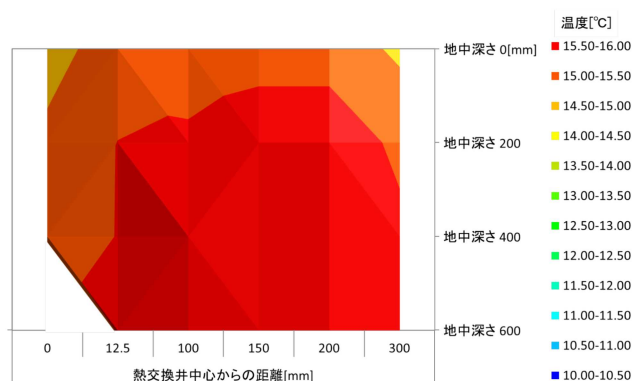
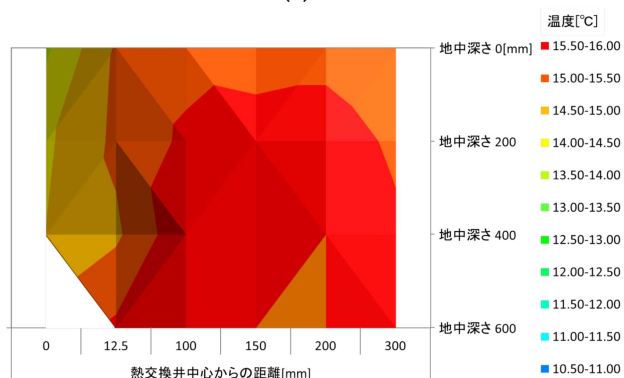
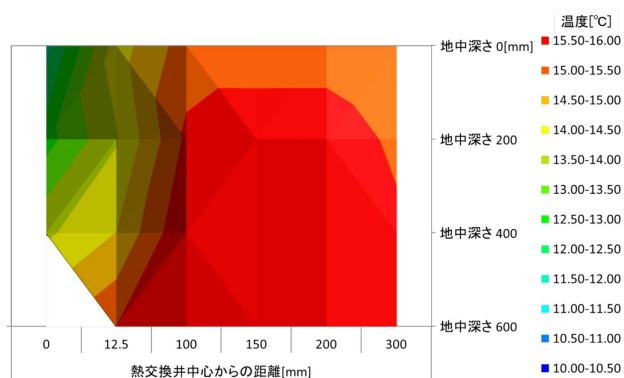
採熱条件は循環液に水を使用し、貯水タンク温度をを 5 ℃、ポンプ出力を 60Hz とした。また、地中温度は地下 800mm を 15 ℃として行った。以上の条件において実験した場合の循環開始後 0、1、3、5、10 分後の地中温度分布を図 6(a)~(e)に示す。図において、交換井中心からの距離 0mm、地中深さ 600mm は測定していない領域である。時間ごとに交換井を中心に徐々に地中温度が低下していることがわかる。日本大学工学部の過去の研究によると、1/10 モデルの場合、時間軸は 1/100 程度になるとされている。これに従うと、例えば、6 時から 22 時までの 16 時間の地中熱を利用した場合、熱移動現象を約 10 分で再現できることとなる。ミニモデルでの運転開始前(図 6(a))と開始後 10 分後の温度分布(図 6(e))を比較すると、温度低下は交換井中心より約 100mm 程度まで生じている。これを実際の大きさに換算すると、10 倍の 1m となる。つまり、交換井同士の距離は使用時間により変化するが、起床時間(16 時間)中の運転であれば、最低 1m 以上の距離を保つことで、効率の良い採熱が可能であると考えられる。

ただし、この結果は繰り返し運転などを考慮しておらず、今後、繰り返し試験による試験を行い、実状に合わせた温度分布の検討が必要になると考えられる。

(a) 0min

(b) 1min

(c) 3min

(d) 5min

(e) 10min

図6 地中温度分布の時間変化

４．結言

本研究において、ハイテクプラザでは再生可能エネルギーである浅部地中熱利用の最適条件を模索したところ、次のような結果となった。

(1) 1/10 サイズのミニモデルの作製を行った。
(2) ミニモデル各所に Pt100 を配し、地中温度および循環水温度を測定できる構造とした。また、監視ソフト Cacti を用いて 2 台のデータロガーからのデータをオンデマンド表示を可能とした。
(3) 採熱を行う循環液である PG、EG、水の 3 種類について、粘度、密度の測定を行い、理論的最適流量を求めた。また、実際のミニモデルにおいて流量の測定を行った結果、不凍液(PG、EG)は流量が不足していることがわかった。
(4) ミニモデルにより地中熱を利用した場合の地中温度分布の時間変化を調査した。その結果、通常サイズの場合の時間で 16 時間使用した場合、採熱の影響は熱交換井間隔は最低 1m 以上の間隔が必要であることが確認された。

以上の結果から、来年度はこれら課題を解決し、日本大学工学部で制作する地中熱シミュレーションの検証実験を行う。

参考文献

1)北海道大学地中熱利用システム工学講座："地中熱ヒートポンプシステム"、2009
2)Cacti：http://www.cacti.net/

石炭灰の再生利用促進

Promotion of Recycling Fly-Ash

技術開発部工業材料科　　　　光井啓　　鈴木雅千　小柴佳子
相馬環境サービス株式会社　　熊谷祐一　管野栄

火力発電所が多数立地する本県では産業廃棄物として年間約 130 万トンの石炭灰が排出されている。本研究グループでは、平成 22 年度に石炭灰をショット加工用のショット材(石炭灰ショット材)として再生利用する研究を行い、石炭灰の再生ショット材の製造方法を確立している。本研究では、再生石炭灰ショット材およびそれを用いたショット加工法の特徴の総括とブラッシュアップを行った。

Key words:石炭灰、フライアッシュ、ショットブラスト、ショットピーニング、ピーニング寄与度

１．緒言

火力発電所では石炭を燃焼させ、そのエネルギーを電気に変えている。この燃焼によって溶融状態になった灰の粒子は、ボイラ底部に凝集し多孔質な塊となってクリンカホッパに落下堆積するもの(クリンカアッシュ)と、高温の燃焼ガス中を浮遊し、ボイラ出口で温度の低下にともない、球形微細粒子となって電気集じん器に捕集されるもの(フライアッシュ)とに分かれる。本県では産業廃棄物として年間約 130 万トンの石炭灰が排出されている。排出される石炭灰のうちクリンカアッシュが 1 割程度であるのに対し、フライアッシュは 8 割以上を占める。クリンカアッシュは軽石状のものであることから、農業用資材として十分な需要がある一方、フライアッシュは、専らコンクリートの骨材等へのリサイクルがほとんどで、その排出量に対するリサイクル率は増加しているものの、依然として県内では 30 万トン以上が最終処分場で埋立処分されているのが現状である。

これを受けて本研究グループでは、平成 22 年度にフライアッシュの再生利用化に関する研究 [1,2]を行い、図 1(a)に示すような再生石炭灰ショット材(以降、FA ショット材)の製造方法を確立した。フライアッシュをそのまま使用すると、超微粒子が多く含まれているため、それがチャンバー内に舞い上がり手元がほとんど見えず、作業性に著しい支障が出るが、FA ショット材は図 1(c)に示すように、市販材と同等程度の作業性を有している。

図1 (a)再生石炭灰(FA)ショット材のSEM像、および(b)フライアッシュ、(c)FAショット材及び(d)市販ショット材を用いたショット加工風景

本研究では、FA ショット材の利用分野を拡大することを目的として、FA ショット材およびそれを用いた FA ショット加工法の特徴を総括するとともに、本加工法に特異性を持たせるための調査を行った。

２．実験及び結果

２．１．FAショット材のSEM観察

本研究では平均粒子サイズが 10μm 以下(FA10)、10~25μm(FA25)および 25~75μm(FA75)の範囲となる 3 種類の FA ショット材を開発した。それぞれの粒子形状の SEM 観察結果を図 2 に示す。

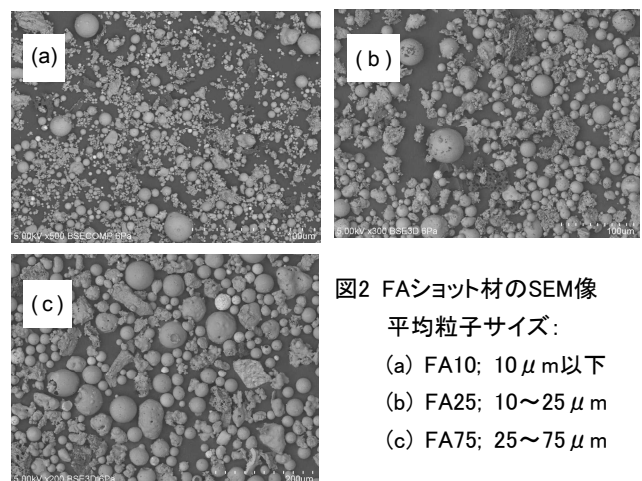



図2 FAショット材のSEM像
平均粒子サイズ:
(a) FA10; 10μm以下
(b) FA25; 10～25μm
(c) FA75; 25～75μm

図 1(c)に示すような手動装置において作業性が必要とされる場合には FA75 が最適であるが、投射圧力や投射量をコントロールすることで FA25 も十分使用が可能である。FA10 は、本研究では詳述しないが、ウェットブラスト用として利用が可能であると考えられる。

２．２．FAショット材の粒子形状測定

本研究で開発した FA ショット材の粒子形状測定結果(粉体画像解析装置 PITA-3：セイシン企業製)を図 3~5 に示す。図 3 に示した円形度は 4π(面積)/(周囲長)^2 で算出され、真円の場合に 1 となる。なお、正六角形は 0.91、正方形は 0.79、正三角形は 0.60 である。FA ショット材の円形度は 0.3~1.0 の範囲に広く分布しているが、粒子サイズが大きくなると円形度の最大値は低くなる。

図 4 に示したアスペクト比は、粒子投影写真に対する外接長方形の長辺と短辺の比である。FA ショット材は 1.0~2.0 のアスペクト比を持つことがわかる。

図 5 に示した凹凸度は、周囲長と包絡周囲長(凹みを埋めるように外側を結んだ時の周囲長)の比で、(包絡周囲長)/(周囲長)で算出され、粒子に凹みが少ないほど凹凸度が 1 に近づき表面が滑らかな形状になる。五芒星(星形正五形)および六芒星(星型六角形)を例にとると、凹凸度はそれぞれ 0.81 および 0.87 となる。FA ショット材の凹凸度は粒子サイズが小さくなるほど 1 に近づき、凹凸が少なくなる傾向にあると言える。

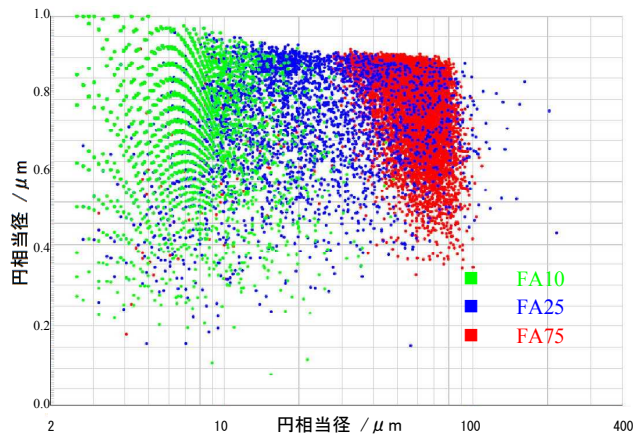



図3 FAショット材の粒子形状測定結果（円形度）

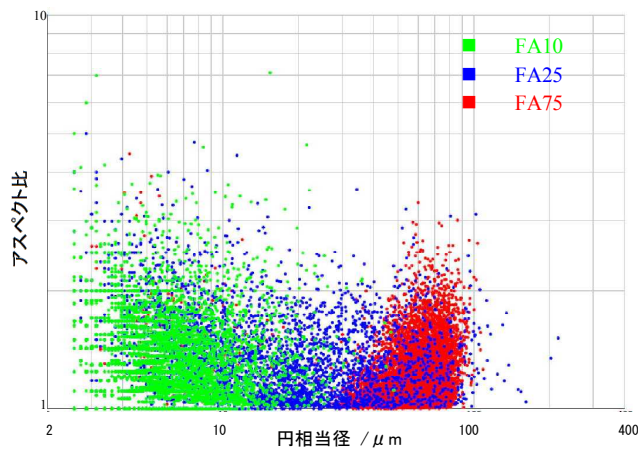



図4 FAショット材の粒子形状測定結果（アスペクト比）

図5 FAショット材の粒子形状測定結果(凹凸度)

２．３．FAショット加工法の特徴

本研究において、さまざまな材質の試験片や製品に対しショット加工実験を行った結果を総括して、FA ショット加工法は表 1 に示すような目的で使用できる。

FA ショット材は 100µm 以下の粒子であるため、マイクロショット加工に分類される。したがって、製品の原形状をあまり崩さない比較的細かい加工を必要とする用途に有効であると考えられる。

表1 FAショット加工法の適用範囲

ピーニング効果	比較的浅い領域への圧縮残留応力の付与
表面研掃（ブラスト効果）	一般的なサビの除去 表面変質層（熱酸化膜等）の除去 細かい（顕微鏡レベルの）バリ取り
表面特性の付与	摺動性（すべり性）の付与 表面処理（メッキ等）の前処理(アンカー効果)
装飾加工	比較的細かい梨地加工

３．考察

３．１．FAショット材の特徴

ショット加工で得られる効果としては、ピーニング効果とブラスト効果の 2 つが代表的である。前者は平滑な表面を持つ球形粒子により加工表面を塑性変形させることが主目的となり、一方、後者はランダム形状の粒子の角張った部分を使って加工表面を削る作用を利用している。したがって、ショット材の個々の粒子がどのような形状をしているか把握することが効果的なショット加工を行う上で重要となる。

しかしながら、図 3~5 の測定結果は、ショット材の全体の傾向を見ることはできるが、個々の粒子の円形度、アスペクト比、凹凸度を対応させて議論することが難しい。そこで本研究では、これらを総括した値として、ピーニング寄与度 P を次式のように定義した。

$$P = (円形度)^{1/2}(凹凸度)^2/(アスペクト比)^{1/2} \quad \cdots (1)$$

ピーニング効果が期待できる形状としては、滑らかな面(逆に凹凸面)の有無とそれが衝突する確率が重要

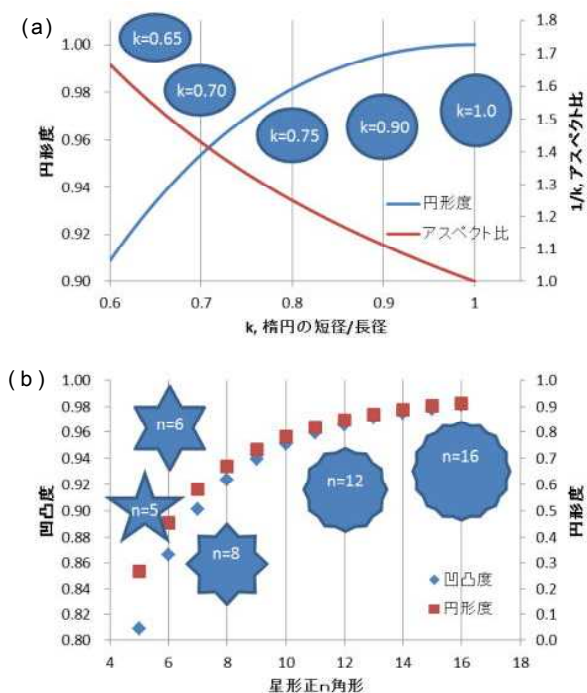



図6 基本図形の形状評価. (a)楕円形の円形度およびアスペクト比、(b)星形正n角形の凹凸度および円形度

となる。球形からやや扁平であっても、楕円形のように滑らかな面がある場合、ピーニング効果が期待できると考えられる。図 6(a)に示した楕円形では短径/長径比 k=0.75 程度までは許容できると判断される。上式(1)より k=0.75 のとき P=0.85 となる。次に、星形正ｎ角形では、図 6(b)に示すように、n=12 以上であると凹凸が小さくほぼ円形と判断できる。このとき P=0.86 である。したがって、本研究では $P \geqq 0.85$ となる粒子がピーニング効果を発揮し、それ以下の粒子はブラスト効果が働き始めると定義した。ブラスト効果が主となるのは図 6(b)において凸部角が 90° 以下となる $n \leqq 8$ であるとすると、P<0.7 の粒子が該当する。

図 7 に粒子形状測定結果より求めたピーニング寄与度の分布図を、図 8 に 3 種類の FA ショット材における P=0.85 および 0.7 を閾値とした粒子数の比較および P ≧ 0.85 となるピーニング効果粒子の割合を示す。本研究で定義したピーニング寄与度により評価したピーニング効果粒子の割合は図 2 に示した SEM 写真をよく再現していると言える。FA ショット材はピーニング効果粒子とブラスト効果粒子がほぼ同率で存在するショット材であることがわかる。

３．結言

本研究では、石炭灰をショット加工用のショット材として再生利用することを目的として、再生石炭灰ショット材および加工法の研究開発を行った。その結果、以下のような知見を得た。

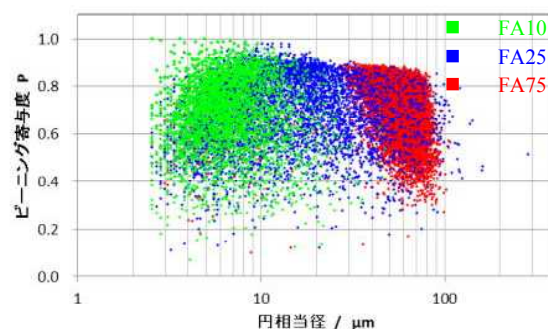



図7 FAショット材のピーニング効果指数分布図

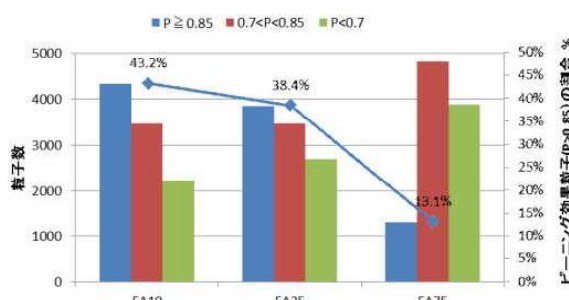



図8 FAショット材におけるP=0.85およびP=0.7を閾値とした粒子数比較、およびピーニング効果粒子(P≧0.85)の割合

(1) 平均粒子サイズが 10μm 以下、10~25μm および 25~75μm となる 3 種類の再生石炭灰ショット材の試作に成功した。

(2) ピーニング効果を評価するため、粒子形状のピーニング寄与度 P を以下のように定義し評価を行った。

$$P = (円形度)^{1/2}(凹凸度)^{2}/(アスペクト比)^{1/2}$$

その結果、ピーニング効果を期待できる形状を有する粒子の存在比について P=0.85 を閾値とすることで SEM 観察結果と整合性を持って求められることがわかった。

(3) さまざまな材質の試験片や製品に対し再生石炭灰ショット加工実験を行った結果、再生石炭灰ショット加工法は製品の原形状をあまり崩さない比較的細かい加工を必要とする用途に有効であることがわかった。

参考文献

1)光井啓、渡部一博、熊谷祐一、管野栄：“ 石炭灰の再利用推進 ”、平成 22 年度福島県ハイテクプラザ試験研究報告書、 pp.1-4、2011

2)光井啓、小柴佳子、渡部一博、熊谷祐一、管野栄：“ 石炭灰を加工したショットピーニング材の用途拡大 ”、平成 23 年度福島県ハイテクプラザ試験研究報告書、pp.30-31、2012

電解加工廃液の再利用化技術の検討

Examination of Reuse Technology for Electrolytic Processing Waste Fluid

技術開発部工業材料科　　中山誠一　杉内重夫　矢内誠人
株式会社ＩＨＩ相馬工場、日本電工株式会社、株式会社エム・ティ・アイ

電解加工廃液を再利用化するための分離・回収の最適化の検討を行った。その結果、ニッケルについて、キレート樹脂やイオン交換樹脂を用いて効率よく分離、回収することができた。また、生産工程を想定したスケールアップシステムでも良好なニッケル回収率が達成できた。

Key　words:電解加工、廃液、分離、回収、キレート樹脂、イオン交換樹脂

１．緒言

主に一体成形が必要で機械加工が困難な材質の金属製品の最終仕上げには、その表面粗さの精度が求められる点や簡便さなどの観点から電解加工法が用いられるケースが多い。電解加工法は工具を－極、被加工物(今回はインコネル材)を＋極として間隙を隔ててセットし、間隙に電解液を流しながら直流電圧をかけることにより加工する手法(図 1)であるが、溶け出した金属やスラッジが蓄積することで電解加工効率が低下するため、ある程度使用したところで電解液を交換、補充する必要がある。この際に大量の廃液が発生し、脱水・焼却などの減量化処理の後、埋立処分されており、県内でも年間 200 万トンの廃液が発生し、また、年間 10 万トンの埋立処分が行われている。この廃液やスラッジには、ニッケルなどの有価金属が含まれているにもかかわらず、取り出されることもなく産業廃棄物として処分されており、多大なコストがかかっているのが現状である。

そこで、電解加工廃液から有価金属を分離・回収し、めっき液などへの再利用につなげる方法を確立することを最終目標として、初年度はイオン交換法や溶媒抽出法などを応用し、良好な結果を得たものの、イオン交換法でニッケルと同時にクロムが一部回収されてしまうといった課題が残った。これを改善すべく種々の検討を行ったので報告する。

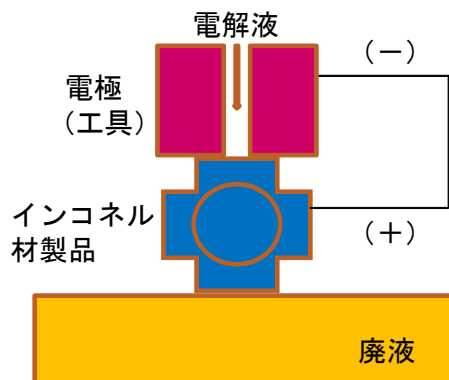



図1　電解加工法

２．実験方法

２．１．試料

試料は、協力企業である、株式会社ＩＨＩ相馬工場より提供いただいた、電解加工液(図 2)を用いた。なお、試料はスラッジ分を含み、ICP-AES 分析などに支障が出るため、予めろ紙によるろ過を行い、ろ液を実験に供した。

図2　電解加工液

２．２．分析方法

２．２．１．試薬及び器具

試薬は、和光純薬工業製、特級を用い、ICP-AES による定量分析のための検量線用標準液は、和光純薬工業製、原子吸光分析用標準液(1,000mg/L)を用い、検量線を作成した。また、器具(ビーカー、メスフラスコ、ホールピペット)はガラス製のものを用いた。

２．２．２．装置及び定量条件

ICP-AES は、サーモフィッシャーサイエンティフィック製、iCAP6300 Duo を用いた。分析線波長は Ni 231.604nm、Cr 267.716nm、Fe 259.940nm、Nb 309.418nm、Mo 202.030nm、Na 589.592nm で、両側のバックグラウンド補正を行った。また、pH メータは、東亜ディーケーケー製、HM-16S を用いた。

２．２．３．電解加工液の成分分析

供試電解加工液のろ液について、ICP-AES による定量分析を行った。ろ液は蒸留水で正確に 50 倍希釈し、Na 測定溶液は 1 万倍希釈した。定容の際は硝酸(1+1)10mL を加え 100mL にメスアップした。定量成分は、インコネル材の主な成分(Ni、Cr、Fe、Nb、Mo)及び、電解液(硝酸ナトリウム)の濃度を算出するために、Na を定量分析した。

２．３．キレート樹脂による分離

キレート樹脂による電解加工液からのニッケルの回収を試みた。キレート樹脂は、協力企業である、日本電工株式会社から主に提供いただいた。使用したキレート樹脂を表 1 に示す。

表1　キレート樹脂一覧

	品名（メーカー）	官能基	イオン型
1	TP220（LANXESS）	ビスピコリルアミン基	H
2	S930／4922（PUROLITE）	イミノジ酢酸	Na
3	S950（PUROLITE）	アミノリン酸	Na
4	Ambersep GT74（SUPELCO）	チオール	H
5	DIAION CR11（三菱化学）	イミノジ酢酸	Na
6	DIAION CR20（三菱化学）	ポリアミン	H
7	TULSION CH－90 (THERMAX)	イミノジ酢酸	Na
8	TULSION CH－93 (THERMAX)	アミノリン酸	Na

この 200mL をクロマトグラフ管に充填(図 3)し、ろ別した電解加工液 50mL で満たした状態で 2 時間放置後採液し、ICP-AES による定量分析により、どれだけ分離、回収できたかを検証した。

図3　分離・回収方法外観

２．４．イオン交換樹脂のニッケル回収能力確認

イオン交換法におけるニッケル回収について、イオン交換樹脂のニッケル回収能力の確認を行った。樹脂は日本電工株式会社から提供いただいた、ナトリウム型陽イオン交換樹脂を用い、この 200mL をキレート樹脂による分離と同様に充填し、電解加工液 50mL を満たした状態で 2 時間放置後採液して ICP-AES にてニッケルを定量分析する操作を 10 回繰り返した。

２．５．イオン交換樹脂によるニッケル回収（スケールアップ及び連続運転）

イオン交換樹脂によるニッケル回収について、生産工程を想定したスケールアップシステムを作成した(図 4)。前述のイオン交換樹脂 1L をカラム管(長さ 1m)に充填し 1L ビーカーに電解加工液 1 L を満たし、ペリスタポンプ(PSM150AA,ADVANTEC)を用いて流量約 300mL/h にて電解加工液を循環し、1 時間ごとに 8 時間まで採液して、溶液中のニッケル量を ICP-AES で測定した。それにより、ニッケルがどれだけ回収されたかを確認した。

図4　スケールアップシステム外観

３．結果及び考察

３．１．電解加工液の成分分析結果

初期状態の電解加工液の成分量分析結果を表 2 に示す。　なお、Na 定量値から算出した硝酸ナトリウム濃度は 25.2%、pH は 5.94 であった。

表2　電解加工液の成分量

Ni	Cr	Fe	Nb	Mo
198	761	0.1未満	0.1未満	26.9

単位：mg/L

３．２．キレート樹脂による分離結果

キレート樹脂による分離結果を表 3 に示す。

表3　キレート樹脂による分離結果

	Ni (mg/L)	Cr (mg/L)	Fe (mg/L)	Nb (mg/L)	Mo (mg/L)	$NaNO_3$ (%)	pH
通液前	198	761	0.1未満	0.1未満	26.9	25.2	5.94
通液後 樹脂１	0.1未満	5.3	1.5	0.2	0.5	11.2	2.84
通液後 樹脂２	0.1未満	405	0.1未満	0.1未満	9.2	13.2	9.76
通液後 樹脂３	0.1未満	329	0.1未満	0.1未満	11.4	13.5	6.70
通液後 樹脂４	80.8	63.4	14.7	0.1未満	0.3	12.4	1.11
通液後 樹脂５	0.1未満	417	0.1未満	0.1未満	12.7	13.5	9.03
通液後 樹脂６	0.1未満	374	0.1未満	0.1未満	12.1	11.6	11.39
通液後 樹脂７	0.1未満	435	0.1未満	0.1未満	8.9	13.7	8.22
通液後 樹脂８	0.1未満	379	0.1未満	0.1未満	13.3	10.5	7.52

ほとんどのキレート樹脂でニッケルはほぼ回収されており、イオン交換樹脂の場合より改善されている。ただし、キレート樹脂によっては、Cr や Mo も吸着したり、硝酸ナトリウム濃度が減少するなど、さらに改善の余地がある。また、通液後の pH 変化が大きい場合があり、コンディショニング等を改善する必要があると思われる。

３．３．イオン交換樹脂によるニッケル回収能力分析結果

イオン交換樹脂によるニッケル回収能力分析結果を表 4 に示す。

表4　イオン交換樹脂のニッケル回収能力分析結果

	Ni濃度(mg/L)	回収率(%)	Ni回収量(mg)
通液前	198		
1回目	2.9	98.5	9.8
2回目	18.1	90.9	9.0
3回目	40.4	79.6	7.9
4回目	69.2	65.1	6.4
5回目	90.4	54.3	5.4
6回目	107	46.0	4.6
7回目	117	40.9	4.1
8回目	124	37.4	3.7
9回目	133	32.8	3.3
10回目	141	28.8	2.9

TotaL回収量:57.1mg

このうち、ニッケル回収率については図 5 に、また、ニッケル回収量については図 6 にグラフ化した。

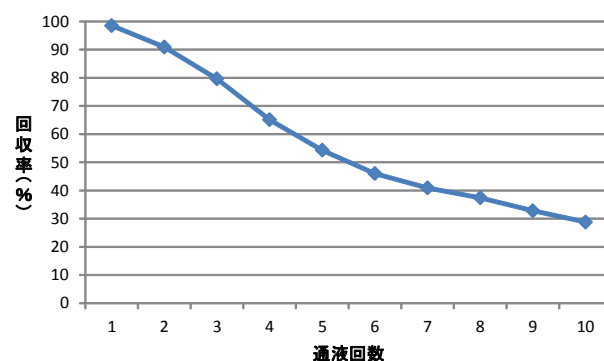



図5　イオン交換樹脂によるニッケル回収率

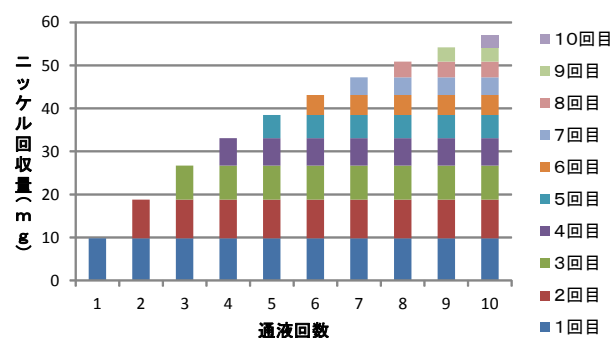



図6　イオン交換樹脂によるニッケル回収量

通液 1 回目ではニッケル回収率が 98.5%とかなり高いが、通液回数が増すと除々に回収率が低下し、10 回目では 28.8%まで低下する。これ以降もわずかずつ回収できると思われるが、効率的ではない。今回の条件では、イオン交換樹脂 200mL に対するニッケル回収量は 57.1mg であった。

３．４．イオン交換樹脂によるニッケル回収（スケールアップシステム）結果

スケールアップシステムにおけるニッケル回収分析結果を表 5 に示す。また、ニッケル回収率を図 7 に示した。

表5　イオン交換樹脂によるニッケル回収分析結果

通液時間	Ni濃度(mg/L)	Ni回収率(%)
通液前	198	
1時間	153	22.6
2時間	101	49.0
3時間	79.9	59.6
4時間	64.5	67.4
5時間	60.8	69.3
6時間	62.4	68.5
7時間	64.1	67.7
8時間	65.9	66.7

※ 5時間時のNi回収量:137mg

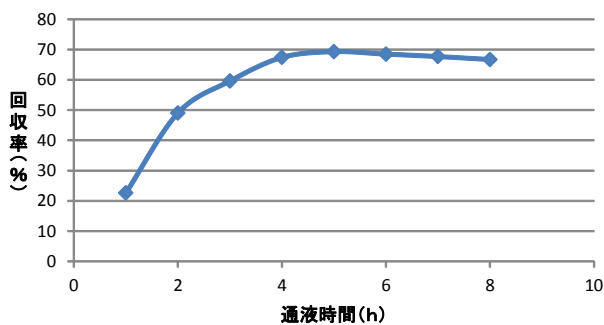



図7　イオン交換樹脂によるニッケル回収率

スケールアップシステムにおいては、時間の経過と共にニッケル回収率が増加し、70%程度に達するとそれ以上は増加しないようであった。これは、イオン交換樹脂の回収能力の限界であることを意味している。また、通液時間が4時間程で飽和するのは、通液流量が約300mL/hであるので、電解加工液1Lが循環してほぼ1周した時点で飽和するのではないかと推測される。このシステムと条件でのニッケル回収量は、回収率の一番高い5時間時で137mg(樹脂1Lあたり)であった。

４．結言

(1)　キレート樹脂を用いた分離、回収でイオン交換樹脂よりもニッケル回収率を上げることができたが、さらに改善の余地がある。

(2)　イオン交換樹脂によるニッケル回収能力が確認できた。今回の条件では、イオン交換樹脂200mLに対するニッケル回収量は57.1mgであった。

(3)　イオン交換樹脂を用いたスケールアップシステムにおいても良好なニッケル回収率(約70%)が達成できた。

参考文献

1)長谷川　浩、古庄　義明："高選択性樹脂を用いる固相抽出法による元素分析"、日本分析化学会ぶんせき、pp.34-40、2011-1

2)"水リサイクル・廃水処理技術－技術分野別、排水・廃水種別の最新動向－"、株式会社東レリサーチセンター調査研究部門

簡易型転落・転倒警報装置の開発

Development of a simplified device to alert the tumble and fall of the tractor

技術開発部生産・加工科　　高樋昌　有賀真一

農作業における乗用トラクタでの転倒・転落事故を早期通報するために、後付で使用する簡易型の転落・転倒通報装置の開発を行った。本年度は、条件を田畑の出入り口付近での低速移動に絞り、角度検出のみで角度検出を行う通報装置を構築した。その結果、低速移動の場合、トラクタ振動の影響が少ない場所に設置すれば比較的誤差が少なく角度検出ができることが分かった。また、古典的な通報システムの構築を検討し、卓上実験において動作確認を行ったところ、警報装置との連動が容易であることが分かった

Key　words:農作業、乗用トラクタ、Arduino、3軸加速度センサ

１．緒言

福島県における農作業時の死亡事故を見てみると、乗用トラクタによる事故が 35%を占め最も多くなっている。そのうち転落・転倒が 82%を占める(H16~H22 年度福島県農林水産部農業担い手課調べ)[1]。

また、鹿児島県による農作業時の事故調査によると、農道・公道での転落・転倒、水田や畑の出入り口での転落・転倒が多いとの結果が出ている[2]。

これらのことから、危険な状況を喚起し転落・転倒を防止する警告装置を開発することは、農作業死亡事故の減少に対する効果が大きいと考えられる[3]。

また、「農業機械による農作業は、1 人で行うことが多く、事故発生から発見までの時間は、発生直後が最も多いが、発生から 2~3 時間まで発見されている場合も多く、場合によっては 5 時間以上経てから」という鹿児島県の報告がある[2]。事故が発生した場合、できるだけ早く発見されるべきなので、農作業事故発生から発見までの時間短縮も考慮の余地がある。

本年度は、昨年度検討した角度検出の精度を向上させた角度検出装置を構築し、設定角度で警報が適切に出せるかどうか確認を行った。本年度も圃場の出入り口及び圃場内移動時の転倒防止を想定しているため、農業機械の移動速度を低く設定した(2~5km/h 程度)。なお、農業総合センターではハイテクプラザが検討した角度検出手法をスマートフォンアプリに適用し、アサヒ電子株式会社と共同で通報システムを公開した。ハイテクプラザでは第三者に通報する手段として、転倒検出時に発煙筒および警音器による通報手段の実装を検討した。古典的な方式ではあるが、五感に頼る通報手段は人間に直接訴える手法であるため事故対応を早くする機会が増えると期待できる。

２．実験装置の構築

実験装置は、角度検出に 3 軸加速度センサおよび角速度センサを用い、市販のマイコンで角度を算出する構成とした。角度検出の概念は図 1 のとおりである。

本研究では、トラクタの進行方向への転倒はほとんど起こらず、起きても最終的には横方向に倒れ込むというトラクタの転倒動作の特徴を考慮し、横方向の角度検出のみを検討することとした。角度は 3 軸加速度の出力値から次式[4]により求めた。

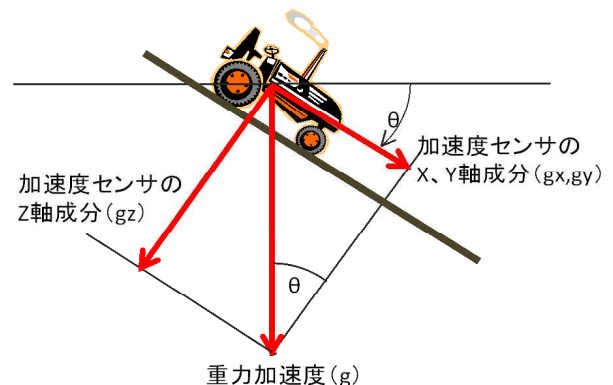



図1　角度検出方法

$$\theta = \frac{180}{\pi} tan^{-1} \frac{gy}{\sqrt{gx^2 + gz^2}} \quad \cdots(1)$$

ここで、

θ　：トラクタ横方向の傾き

gx:：重力加速度のトラクタ進行方向成分

gy:：重力加速度のトラクタ左右方向成分

gz:：重力加速度のトラクタ垂直方向成分

トラクタからの振動の影響を抑えるために、3 軸加速度センサの出力値にはローパスフィルタを適用した。

ローパスフィルタは次式に示す 2 段 2 次 IIR フィルタ(バターワース)を採用し、各係数は石川工業高等専門学校の公開ツール[5]により求めた。

$$H(z)=k_1\frac{a_{10}+a_{11}z^{-1}+a_{12}z^{-2}}{1+b_{11}z^{-1}+b_{12}z^{-2}} \times k_2\frac{a_{20}+a_{21}z^{-1}+a_{22}z^{-2}}{1+b_{21}z^{-1}+b_{22}z^{-2}} \quad \ldots(2)$$

また、角速度センサを導入し、カットオフ周波数よ

り高い周波数の角度検出を角速度センサで、低い周波数の角度検出を加速度センサで行った。最終的に算出角度は次式により求めた。

$$\theta = \theta_{(n-1)} + \dot{\theta}_g \Delta t - \omega\theta_{(n-1)}\Delta t + \omega\theta_a\Delta t \quad \cdots(3)$$

ここで、

$\omega = 2\pi f_0$

θ ：角度

$\theta_{(n-1)}$ ：前回の角度

$\dot{\theta}_g$ ：ジャイロセンサーの角速度

θ_a ：加速度センサーの角度

Δt ：サンプリング時間

ω ：角周波数

f_0 ：カットオフ周波数

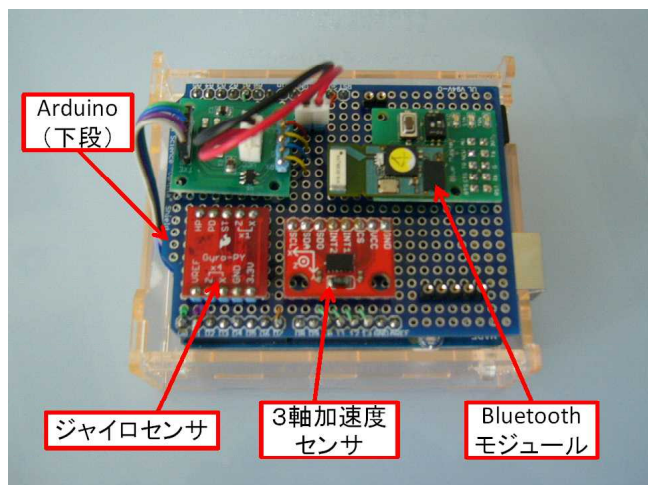



図2　角度検出装置

3．実験

図2に本研究で使用した実験装置を示す。マイコンはSmart Projectが製造するArduino UNOを用いた。3軸加速度センサはスイッチサイエンス社製 ADXL345ブレークアウトボードを用いた。ジャイロセンサはスイッチサイエンス社製 LPY530AL ブレークアウトボードを用いた。また、外部機器と通信できるように

図3　実験用トラクタ

図4　実験装置装着位置（トラクタ前方）

図5　実験装置装着位置（トラクタ後方）

Bluetoothモジュールを搭載した。

実験は農業総合センター内実験路(最大傾斜角約 28度)で行い、トラクタを速度 2km/h 程度で実験路を走行させ、角度データを収集した。ほとんどのトラクタは30度前後で片側2輪が浮かぶ静的2次転倒を起こすが、本実験では最大傾斜角において片側2輪が浮き転倒状態となる。

乗用トラクタの前後に試験装置を装着し角度検出実験を行った。センサの設置位置は、振動の大きなトラクタ前方および振動の小さなトラクタ後方を選択しその違いを確認した。なお、トラクタ前方に設置した状態では最大斜度付近で数秒停止してデータ収集を行った。また、マイコンへの角度データの取り込みは 20msec ごとに行い、ローパスフィルタを適用した。ローパスフィルタおよび加速度センサ、ジャイロセンサの角度算出用のカットオフ周波数は0.5Hzとした。これはトラクタの作業者に与える振動数が数Hz であることと、作業時の角度変化が急激ではないことから低めの値を選定した。また、転倒通報に重きを置く場合、角度変動の応答性よりも転倒の判断が重

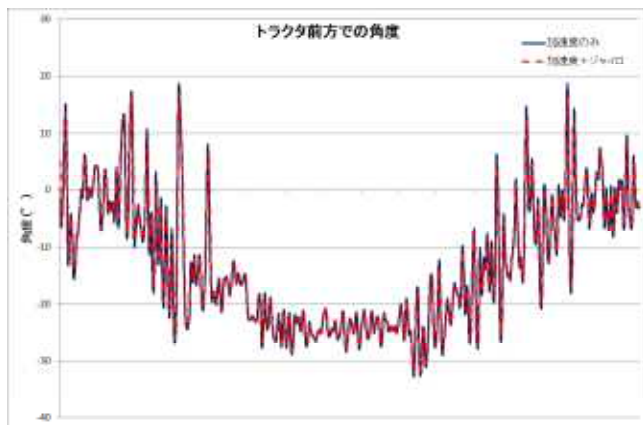



図6　トラクタ前方における検出角度

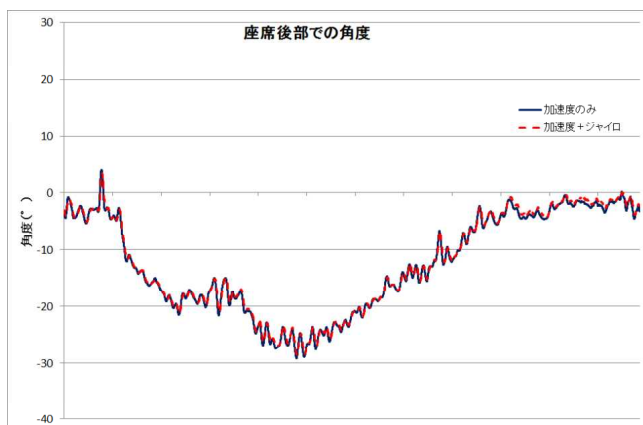



図7　トラクタ後方における検出角度

要である。つまり、トラクタが転倒した場合、角度は静的2次転倒角度より大きな値で一定となり容易に判断できるため、フィルタによる角度変動の応答性が悪くなるのは十分吸収できると考えられる。

それぞれの角度検出の状態をそれぞれ図6、図7に示す。フィルタなしのデータとの比較は示していないが、カットオフ周波数を0.5Hzとしているため、応答性が悪くなり整定するまで2秒程度かかっている。

トラクタ前方に設置した状態では、トラクタのエンジン振動に起因したフレーム等の振動の影響により移動時の角度の検出誤差が非常に大きくなっている。

一方、トラクタ後方に設置した状態では、振動の影響は大幅に低減され、角度の検出誤差も少なくなっている。また、双方ともジャイロセンサを併用した場合の検出角度の誤差が若干少なくなっている。このため、ジャイロセンサを併用した角度検出は有効と判断した。

次に、第三者に通報する手段として、転倒検出時に発煙筒および警音器による通報手段を検討した。図8に簡易装置の概要を示す。

角度検出装置により設定角度(例えば 20°)を設定時間(例えば 2 秒)以上継続した場合は転倒とみなし、角度検出装置から発煙筒発火信号および警告音発生信号を送出する。電源はトラクタの 12V バッテリから供給し、角度検出装置から転倒検知信号を受信しリレー

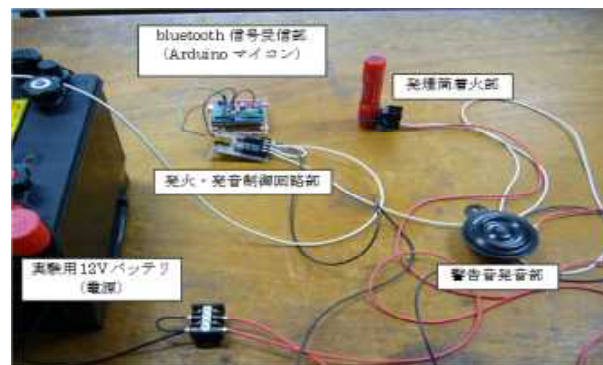



図8　通報装置概要

を動作させ通電することとした。LED を用いた事前テストでは問題なく動作していたため、今後トラクタへ装着し、発煙筒の視認性、警告音の聴感性を含めた動作確認を行う予定である。

４．結言

乗用トラクタの転倒を検知するために角度検出装置を構築し、適切に角度検出ができるかどうかを検討した。その結果、3 軸加速度センサとジャイロセンサを併用し、角度検出装置をトラクタの振動の少ない部分に装着した場合、誤差の少ない角度検出が可能であることが分かった。これによりフィルタを適用して振動の影響を極力除去した場合でも角度検出装置の設置位置が重要であることが確認できた。

また、第三者に通報する手段として、転倒検出時に発煙筒および警音器による通報手段の実装を検討した。卓上実験では設定どおりの動作が確認できた。古典的な方式であるため、簡単に構築でき事故対応を早くする機会が増えると期待できる。

なお、農業総合センターではハイテクプラザが検討した角度検出手法をスマートフォンアプリに適用し、アサヒ電子株式会社と共同で通報システムを公開した。

参考文献

1)福島県農林水産部農業担い手課ホームページ、http://www.pref.fukushima.jp/keieishien/ninaiteikusei/22nousagyouannzenn/nousagyojiko.pdf
2)鹿児島県ホームページ、http://www.pref.kagoshima.jp/ag05/sangyo-rodo/nogyo/gizyutu/anzen/jiko2.html
3)独立行政法人　農業・食品産業技術総合研究機構　農作業安全情報センターホームページ、http://www.naro.affrc.go.jp/org/brain/anzenweb/index.html
4)Christopher J. Fisher：“加速度センサーによる傾きの検出”、アナログデバイセズ、AN-1057、pp.5、2010
5)石川工業高等専門学校山田洋士研究室ホームページ、http://momiji.i.ishikawa-nct.ac.jp/dfdesign/iir/i_lpf.shtml

材料科学的なアプローチによる厚板鍛造の高度シミュレーション技術の確立

Establishment of the Advanced Simulation Technolody of Plate Forging by Material Science Aproach

技術開発部工業材料科　工藤弘行　五十嵐雄大　栗花信介
林精器製造株式会社　大沼孝　遠藤一成　佐藤幸伸　他
国立大学法人茨城大学　鈴木徹也　永野隆敏　岩瀬謙二

サーボプレスによる板鍛造加工においてボトルネックになる多数回の試行錯誤が必要となるものづくりからの脱却を図るため、材料科学的アプローチとして金属組織情報や塑性変形特性などを有効活用する高度シミュレーション利用技術の確立を行う。平成 25 年度は、成形性試験の可視化、限界パラメータの算出などを実施した。

Key words:CAE、板鍛造、サーボプレス、マルチスケール、成形限界パラメータ

１．緒言

厚板鍛造は、板厚 2~8mm 程度の板材を素材とする板成形加工と鍛造加工を融合した加工であり、切削など他加工からの工法転換による低コスト化が期待されている。しかし、板鍛造は板成形に比べ CAE 技術の蓄積が極めて少ないため、経験やノウハウに頼った多数回の試作が必要となり、低コスト・短納期化の実現は困難となっている。

本研究開発の対象となる製品群は、大ひずみ、複雑形状の加工と多数回の焼きなましが特徴で、工程を重ねる度に金属組織や変形特性が大きく変動する。これに対し、塑性加工 CAE では、金属のミクロ組織情報を直接反映できず、試験が必要となるマクロな機械的特性を通して間接的にしか反映できない。一般的には、素材時点の材料特性を用いるが、本開発品では後半工程の解析精度が低下することが懸念される。

このような課題に対し、近年、材料科学分野では、中性子回折や EBSD など組織解析技術の向上や、シミュレーション技術の進歩により、ミクローマクロ・スケールの連携を可能とするマルチスケール CAE によるブレークスルーへの期待が高まっている。

本研究では、上記、材料科学的アプローチによる CAE 技術を確立することにより、高精度な成形限界予測を実現し、成形回数、リードタイムを大幅に減らすことを目的とする。

本研究は経済産業省の戦略的基盤技術高度化支援事業によるもので、実施年度は平成 23~25 年度である。

２．試験方法および評価手法

２．１．材料特性、摩擦係数試験

塑性加工 CAE で高精度の解析を行うには、高精度な材料特性把握試験が必須であるが、引張試験は 0.2 程度のひずみまでしか取得できないため、これに替わる試験として、真ひずみ 1 以上の大きなひずみ範囲まで試験可能な据込み試験を実施する。摩擦係数に関しては、リング試験片を圧縮する試験を利用する。

２．２．成形性試験の内部情報の可視化

成形性試験として実施した部分据え込み試験の内部情報の可視化を行う。成形性試験は圧下量 3 水準 × 据込み径 3 水準の 9 条件で実施し、切断後、代表寸法を測定した。図 1 は成形性試験により得られたサンプルと代表寸法の模式図である。この試験に対応する CAE 解析を実施し、内部スケールの可視化を行う。

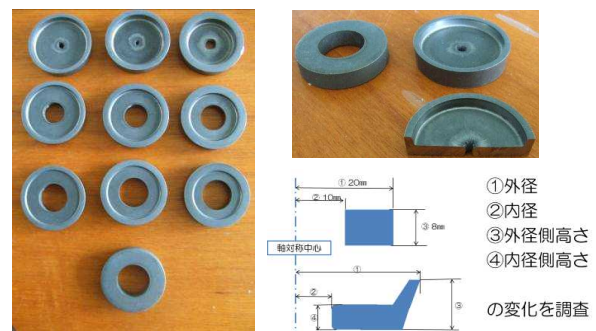



図1 部分据え込試験のサンプル、代表寸法位置

２．３．限界パラメータの算出

塑性加工 CAE で不良発生予測を行うには、各種不良を物理現象として区別し、種類ごとの発生条件を何らかの物理量で定量的に表現する必要がある。過去の知見により、「割れ」は物体全面に塑性変形が広がった後に生じる「延性破壊」であること、「しわ」は金型と被加工材の接触が途切れた自由表面で生じる凸凹変形をきっかけとすること、「焼付き・かじり」は、接触面での凝着摩耗をきっかけとすることが認知されている。本研究では以上を踏まえ、不良現象ごとに分類した限界パラメータの算出を行う。

また、本研究開発では、複数工程を対象とするため、各工程の変形量や成形限界までの余裕度を総合的に把握可能となる手法も併せて検討した。

２．４．シミュレーション・モデルの検討

後半工程の解析精度が低下する課題を解決するため、金属のミクロ組織情報やナノスケールのシミュレーションである分子動力学と、マクロスケールの塑性加工CAE を連携するため、中間スケールの材料モデルについて検討した。

３．試験結果と考察

３．１．材料特性試験、摩擦係数試験握

図 2 は試験に用いたキューブ試験片と円柱試験片である。円柱試験片は φ20、板厚は素材のままとした。キューブ試験片は、3 辺を素材の板厚である 5mm や 7mm に合わせた立方体とした。

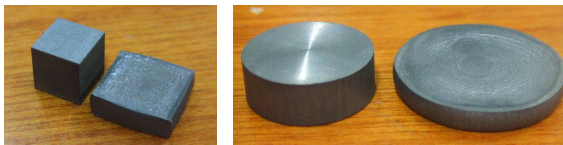



図2　据込み試験サンプル

図 3 左はアルミ 5mm キューブ試験の結果で除荷時のカーブも取得した例である。最大で 70%の圧下率まで実施し、真ひずみ表現で 1.2 までの大ひずみまでの特性を得ることが可能であった。図 3 右はアルミとチタンの比較であるが、グラフの変曲点が耐力点に対応しており、引張試験と同様に耐力や変形特性の算出が十分可能と判断できる。

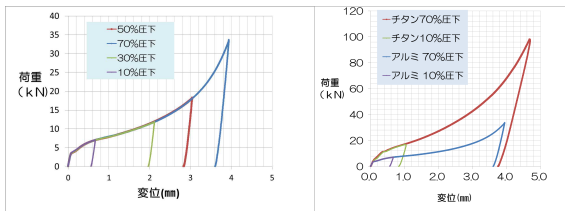



図3　据込み試験結果

摩擦係数を求めるリング圧縮試験は従来より実績のあるもので、摩擦係数が大きくなると接触部に荷重の中立点が生じ、内径が縮小することを利用する。CAE 解析により、図 4 の摩擦係数－内径変化比のグラフを作成し、圧縮試験後の寸法変化より、実サンプルの離型剤使用時の摩擦係数が 0.14 程度であると算出した。

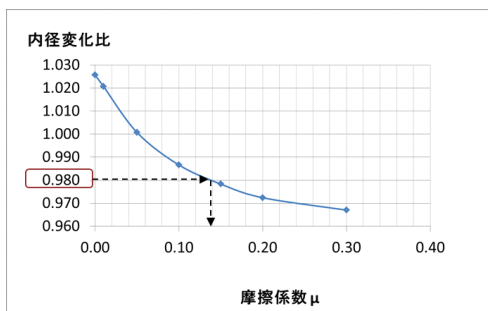



図4 摩擦係数と内径変化比の関係

３．２．成形性試験の可視化

前項で得られた物性値を基に成形性試験を対象とするマクロスケールの可視化を行った。図 5 はチタン、据込み径 φ30 の結果で、上から 1mm、2mm、3mm、4mm 圧下させた後に除荷した時点の塑性ひずみ分布を示したものである。概ね実試験品に近い挙動が得られ、代表寸法変化でも実成形サンプルに対し 0.3mm 以内の精度が確保されている。

図 5 で 3mm 圧下の条件は、実サンプルが無い条件であるが、前後の結果より一定の信頼性があると考えてよく、実試験を伴わない「バーチャル試作」、「バーチャル成形性試験」が現実的であることが確認できた。金型作成にはある程度の時間とコストが必要になるのに対し、CAE では追加コストがほぼゼロであり非常に効率が良いと考えられる。

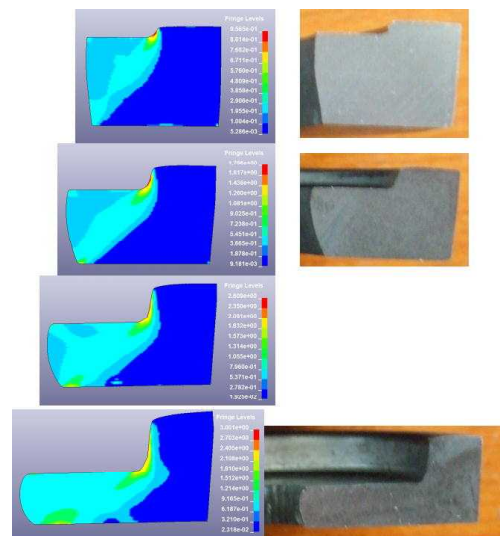



図5 成形性試験の可視化（上から圧下量1、2、3、4mm）
（左：相当塑性ひずみ、右：写真切断面）

３．３．限界パラメータの算出

検討の結果、「割れ」に関しては延性破壊判定式を、「焼付き・かじり」については Archard 型の摩耗予測式を適用する。摩耗予測式の適用に関しては、焼付き・かじりの初期現象が凝着摩耗物の蓄積をきっかけとすることから、一定の妥当性があると判断する。

延性破壊の発生に関しては、材料中の微視的なボイドが生成、成長、合体し、マクロな欠陥、き裂となり生じることが認知されており、多くの研究者により、様々な判定式が提案されている。ここでは、以下の Cockcroft&Latham の式を利用する。式中 σ_{max} は最大主応力、$\bar{\varepsilon}$ は相当塑性ひずみである。

$$\int_0^{\bar{\varepsilon}_f} \sigma_{\max} d\bar{\varepsilon} = C_2$$

判定式は相当ひずみ経路に関して、加工時から破断時までの積分を行い、ある閾値に達したら破壊と判定

する。塑性加工 CAE では各時刻ごと、各要素ごとの計算を行うため、どの要素、言い換えると、どの部位が最も破壊危険性が高いかを明らかにすることが可能である。一例として図 5 のチタン、据込み径 φ35、3mm 圧下における A~C 点の計算例を示す。A 点は R 部、C 点は内径部、B 点は断面中心付近である。プレスモーションは 0 秒から 0.001 秒までが等速の圧下、0.002 秒までが停止、0.003 秒まで等速の除荷とした。

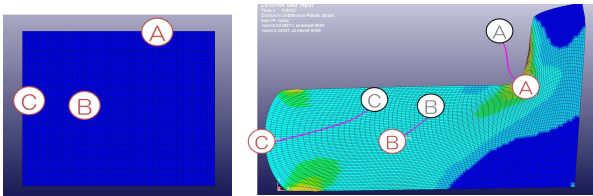



図6 限界パラメータの算出ポイント
（左：加工前、右：加工後）

図 7 は、最大主応力－相当塑性ひずみグラフである。Cockcroft&Latham の式は、このグラフの曲線と x 軸で囲まれる領域の面積を計算することを意味する。図 8 に示される通り、A 点、B 点、C 点での限界ダメージ値を、それぞれ、1,237、439、611(単位：MPa)と算出でき、R 部のダメージが最も大きいことを定量化して確認できる。

破断の判定には閾値、すなわち、式中の定数項 C の算出のための試験が必要であるが、本研究では初期ブランクであるリング形状作成時に抜きプレスを行うことから、この時にプレス量を小さくした加工を行うことで、閾値算出を行う予定である。

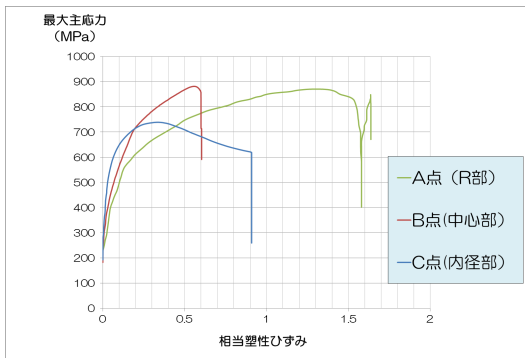



図7 最大主応力－相当塑性ひずみグラフ

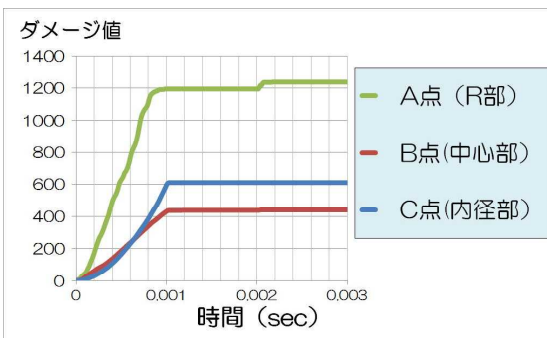



図8 ダメージ値の時刻歴変化

次に、複数工程の変形量や成形限界の把握には表 1 に示す一覧表を用いる。工程設計者の利用のしやすさを優先し、限界値で規格化することで、素材の時点 0、限界を 1 とする 0~1 での表現とする。各工程で 0.9、すなわち、成形限界ぎりぎりを狙うことで、工程数削減が実現できる。

表1 成形限界の可視化イメージ

各工程の変形量・成形限界の可視化

	1工程目	2工程目	3工程目
変形量	○○○	○○	○
最大ひずみ	△△	△	△
割れ	0.9	0.7	0.3
しわ	0.5	0.5	0.9
焼付き・かじり	0.3	0.9	0.4

３．４．シミュレーションモデル

組織が変化する 2 工程目以降の解析精度を確保する手法として、中間的なスケールの材料モデルである「多結晶モデル」の検討を行い、図 9 に示す「粒界強化多結晶体モデル」の利用が有効であると判断した。このモデルは、粒界近傍を転位運動が制限を受ける領域として um オーダーのスケールでモデル化するのが特徴である。粒界近傍領域の幅や特性の決定に関しては、ナノスケール硬さや分子動力学からのパラメータ導出を行うことを計画している。

チタン加工品の組織では、図 10 に示すように、六方晶金属の冷間加工ですべり変形に優先して生じる「変形双晶」が確認された。これに関しても、多結晶モデルを応用することで対応可能である。変形双晶における粒界は小傾角粒界であり、変形抵抗への寄与は通常の粒界より小さいと見込まれるが、本モデルではこれらを影響の違いを幅や物性値の違いで表現することが期待できる。

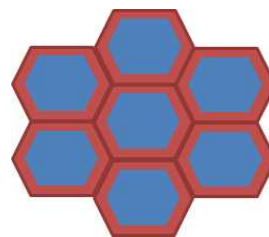
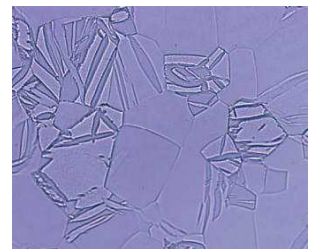



図9 多結晶体モデル　　図10 チタンの変形双晶組織

次に、本研究では溝形状の小径 R 化も目標の一つとしている。図 11、12 は組織観察例であるが、チタン結晶粒径は 0.01~0.1mm 程度であり、コーナー溝形状の R 寸法目標 0.1mm に対して十分大きく、塑性変形に与える結晶粒構造の影響が無視できないことが明らかになった。この課題解決にも「多結晶モデル」適用が妥当であると見られ、平成 25 年度は、コーナー

R 部における中間スケールの CAE 解析も追加実施する。

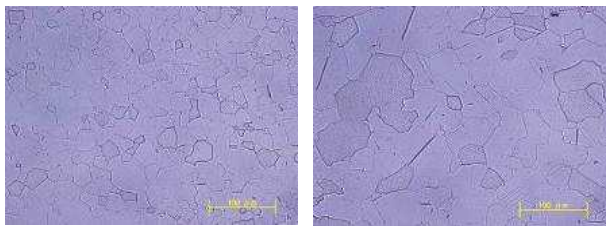



図11 チタンの組織（左：細粒部、右：粗大粒部）

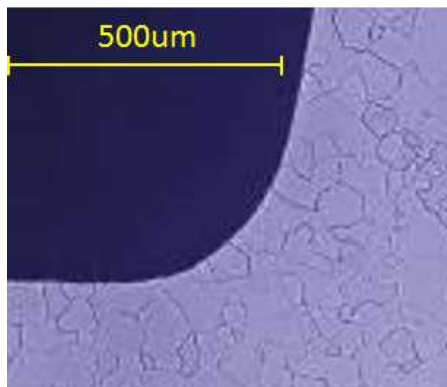



図12 溝R部のチタンの組織（R0.3mm部）

３．５．塑性発熱の推定について

塑性加工を行うと、塑性変形に伴う発熱が生じ、被加工材は温度上昇する。温度上昇は変形抵抗を下げる良い面もあるが、潤滑剤の温度限界が 150 ℃であるため、過度の温度上昇は焼付き・かじりの発生を誘発する危険性が高い。温度上昇は、金型へ流入する熱量をゼロとすると、次式により計算することが可能である。

$$\Delta T = \frac{\eta w}{C\rho} = \frac{\eta}{C\rho}\int_0^{\varepsilon} Y d\varepsilon$$

ここで、η は仕事量のうち、熱となる割合で 0.9、C は比熱、ρ は密度、Y は変形抵抗である。圧下率 50% に相当する相当塑性ひずみ 0.693 までを想定した場合の計算例を表 2 に示す。チタンでは 139 ℃と非常に大きな温度上昇となり、その影響を正確に把握することが重要であるが確認できた。平成 25 年度は、CAE 解析で発熱の影響を考慮できる「構造－熱伝導連成解析」を実施する予定である。

表2 温度上昇の計算例

	比熱	密度	変形抵抗	塑性ひずみ	温度上昇
	J/kg・℃	kg/m^3	MPa		℃
炭素鋼	461	7830	900	0.693	156
アルミ	960	2700	134	0.693	32
チタン	520	4510	523	0.693	139

４．結言

板鍛造に関するシミュレーション利用技術を検討し、以下のことが明らかになった。併せて研究の方針に関わる検討を行い、以下の成果を得た。

(1) 大変形までの材料変形特性が取得可能な据込み試験の採用により、高精度の変形予測が可能となり、本年度実施した成形性試験に関して「バーチャル試作」実現の可能性を確認した。

(2) 成形不良の発生に関して、割れ・焼付きなどの不良の種類ごとに区別し、割れは延性破壊判定式、焼付き・かじりに関しては、摩耗予測式を利用することで、限界パラメータとして定量化する手法を見出した。割れに関しては成形品断面の特徴点の変形を限界パラメータで定量化できることを確認した。

(3) 中間的なスケールを表現する材料モデルとして、「粒界強化多結晶体モデル」を検討し、組織観察から結晶粒径などを、ナノスケール硬さや分子動力学から粒界強化領域の幅寸法や特性値を決定する手法を見出した。

太径締結部品のミクロ加工制御技術の確立

Establishment of the Microstructure Control Technolody of Large Bolt Parts

技術開発部工業材料科　工藤弘行　光井啓　五十嵐雄大　伊藤弘康　小柴佳子 栗花信介
東北ネヂ製造株式会社　関口龍一郎　江幡卓典　他
国立大学法人茨城大学　鈴木徹也　永野隆敏

本研究開発では、風力発電プラントなどでの利用が想定される φ40mm 以上の太径ボルトの開発を目的とする。現状では、焼入れ性の問題などにより、短納期・低コストを望む川下企業のニーズに応えることができていない。東北ネヂ製造が保有する熱間鍛造、熱処理技術をベースに、ミクロ組織制御的なアプローチとして、組織解析技術、CAE 技術を融合することで、低合金鋼でも高品質を確保しつつ、短納期、低コスト化するための製造技術の確立を目指す。

Key words:加工熱処理、改良オースフォーム、組織制御、組織予測、特性予測

１．緒言

高強度・高じん性を要求される機械構造物の多くは、Ni、Cr、Mo などの添加元素を含んだ合金鋼が使用される。これらの添加元素はいわゆる「レアメタル」であるが、国内では構造材での利用が使用量の大半を占めることから、国家プロジェクトである「元素戦略」に基づいて、主に組織制御的アプロ―チにより低合金でも強度特性を確保するための研究が精力的に実施されている。Ni、Cr、Mo は焼入れ性を向上させる役割も併せ持つため、焼入れ性の良い鋼材を必要とする太径部品で低合金材を用いて強度を確保するのは、一層困難な課題となる。また、一部の高級合金鋼は流通量が極端に少ないため、余計に割高となっており、材料コストを削減する意味からも、低合金で強度特性を確保する技術への要求は強い。

本研究開発では φ40mm 以上の太径ボルトの開発を目的とするが、上記の課題に加え、JIS 規格外となることから個別の打合せや、非破壊検査や強度試験による保証が必要になることも重なり、短納期・低コストを望む川下企業のニーズに応えることができていない。

以上の課題解決のため、本研究では、①加工熱処理、②組織・特性予測可能な鍛造-熱処理一体 CAE 技術を適用する。

加工熱処理は、熱間加工と熱処理を連続的に一体化して行う処理の総称であり、工程を削減しながら良好な特性が期待できる。従来は鋼材メーカーの「素材」製造に適用が限られたものの、近年、自動車業界を中心に「工業製品」製造に適用検討が進んでいる。加工熱処理を工業製品製造に適用する際に課題となるのは、変形挙動や組織変化が素材製造に比べて著しく複雑になる点である。この困難を解決する切り札として期待されるのが、鍛造や熱処理など特定の工程に特化したシミュレーション(CAE)技術である。

特定のものづくり工程に特化した CAE は十年ほど前から徐々に利用が広まっているが、近年、急速に注目を集めるのが「鍛造-熱処理一体 CAE」技術である。従来技術では鍛造、熱処理を別々のソフトで解析をしていたこともあり、前工程や素材からの履歴の影響を無視して理想化した状態の解析をしていたため、解析精度が低くなり、普及が広まらない要因となっていた。一体 CAE 技術は、同一ソフトで前工程の解析結果を引き継いで計算するため、実製品の現象をより良く反映し高精度の解析を実現する。これらは極めて計算負荷の大きい解析であるが、IT 技術の進歩にも支えられ実用レベルに達している。

以上より、本研究は①太径ボルトに対する加工熱処理技術の適用、②鍛造-熱処理一体 CAE 技術の確立、③強度保証技術の確立により、短納期、低コストで太径ボルトを開発することを目標とする。対象とする鋼材は、SCM435、SCM440、SNCM439、SNCM630 の 4 材種である。

本報告では、②鍛造-熱処理一体 CAE 技術の確立について記載する。本項目では、CAE により組織予測、特性予測を行うことで、鍛造、熱処理の最適条件の方向性を見出し、試作回数を可能な限り削減し、リードタイム 45 日以内とすることを目標とする。CAE システム導入は平成 25 年度以降となるため、平成 24 年度は CAE システムの立案を中心に実施した。

本研究は経済産業省の戦略的基盤技術高度化支援事業によるもので、実施年度は平成 24~平成 26 年度である。

２．試験方法および評価手法

２．１．加工熱処理関連技術、CAE技術の情報収集

加工熱処理は、熱間加工と熱処理を連続的に行う処理であるが、両工程とも工程中にダイナミックに組織変化が生じる。さらに、加工熱処理では、一般熱処理とは異なる独特の組織変化が生じる。これら組織変化の影響を反映することが可能となる CAE システム技術の確立のため、加工熱処理ならびに CAE 技術に関して必要な関連技術の情報収集が必要を行った。

２．２．CAEシステムの立案、物性値計算CAEの利用

収集した情報を基に CAE システムの立案を行い、導入すべきソフトを選定する。当初計画にあった「鍛造-熱処理一体 CAE」の他に「物性値計算 CAE」の重要性が確認されたため、追加的にデモ解析を実施し、有効性を検証した。

３．試験結果と考察

３．１．加工熱処理関連情報の収集、整理

加工熱処理は、加工するタイミングや狙いとする変態、組織により分類される。現在、実用化されている、あるいは実用化に近いのが、①鋼板圧延における制御圧延、制御冷却(TMCP 処理)、②制御鍛造、③ホットプレス、④改良オースフォームの 4 つの処理であり、それぞれ狙いとする組織と強度特性を表 1 に示す。

表１　加工熱処理の組織と特性

処理の種類	狙いとする組織	狙いとする特性	
		強度(MPa)	伸び（%）
制御圧延・制御冷却（TMCP）	フェライト、パーライト	400～600	20～25
制御鍛造	微細粒 フェライト、パーライト	600～800	5～10
ホットプレス（ダイクエンチ）	マルテンサイト	1200～1500	2～5
改良オースフォーム	焼き戻しマルテンサイト	1000～1500	15～20

本研究開発では、狙いとする特性や組織から、ボルト製造に用いる熱処理として「改良オースフォーム」を選定する。改良オースフォームは、通常の熱間鍛造より低い温度域で加工を行った加工硬化オーステナイト状態から直接焼入れを行う処理で、一般焼入れでは得られない微細なマルテンサイト組織を得るのが特徴である。研究例としては、NIMS が超鉄鋼プロジェクトの１テーマとして強靭鋼の開発を行ったのが代表格であり、800 ℃、50%加工により 1,500MPa 以上の強度を得ることに成功している。また、これらマルテンサイト組織に対しては AFM、ナノスケール硬さを利用した評価が有効であることや、疲労、水素脆化に対して良好な特性を得るなど注目すべき成果を得ている。締結部品は素形材に近い形状を持つことから実用化が最も期待される製品の一つであり、超鉄鋼プロジェクトでは M22 の 1,800MPa 級ボルトを実用化している。

改良オースフォームで工程中に生じる組織変化としては、熱間鍛造時の動的再結晶、高温保持過程での静的再結晶、冷却時のマルテンサイト変態、ベイナイト変態、焼き戻し時の炭化物析出などが挙げられ、これらの現象を CAE でどのように扱うかが重要になる。

３．２．CCT図の有効利用

熱処理は相変態により狙いの組織を得ることで達成されるが、冷却速度によって発生する相変態は異なる。このため、熱処理条件設定の判断においては、連続冷却時の変態特性を示す CCT 図が利用される。図 1 は改良オースフォームにおける CCT 図の模式図である。CCT 図は冷却曲線と変態曲線から構成される。赤線が温度変化を示したもので、Ac_3 点以上のオーステナイト領域で一定時間保持後、加工(図中波線部)した直後に冷却を行う。冷却曲線がマルテンサイト変態開始線(図中緑線)やベイナイト変態開始線(図中青線)にぶつかると変態が開始する。冷却速度が十分大きければ狙いのマルテンサイト変態が生じるが、太径品の中心などでは冷却速度が不足し、一部ベイナイト変態が起こり、特性が低下する。

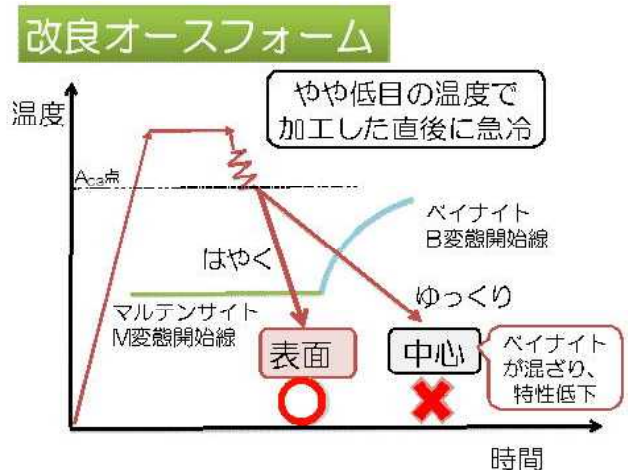



図1　改良オースフォームのCCT模式図

CCT 図を用いると、冷却曲線と変態開始線の位置関係により、熱処理の成否や材種の焼入れ性の優劣を簡単に判断できるため、非常に有用である。

CCT 図を利用する時の注意点としては、変態開始線が化学組成により大幅にシフトすることである。CCT 図の取得に関しては多大な時間、コストを要するため、各学会などを中心にデータベース化の取り組みなどが進み、一部データベースは市販されている。

さらに、化学組成以外にも冷却前の加熱温度(オーステナイト化温度)や加工度、結晶粒径の影響も受ける。さらに加工熱処理では通常と異なる特性となる見込みが強い。これらは CAE システムだけでは分からない情報であり、本研究では熱処理試験や物性値計算 CAE の利用を進める予定である。

３．３．鍛造－熱処理一体CAE技術

本研究で提案する「鍛造-熱処理一体 CAE」技術は、従来、別々の CAE として発展してきた「鍛造 CAE」、「熱処理 CAE」を一体化し、一続きの解析として行う技術である。前工程、あるいは素材から加工、熱処理の履歴を引き継ぐため、鍛造あるいは熱処理開始時点で部位ごとに組織や特性、残留応力状態が異なる状況を反映することが可能で、その精度の高さから急激に普及が広がっている。このようなアイデアは、「全工程解析」と呼ばれており、計算負荷が極めて高いが、コンピュータの性能向上は、これからも期待できるため、一体 CAE の利用はさらに拡大すると見られる。本研究で対象とする加工熱処理は、処理自体が鍛造、

熱処理を一体化する処理であるため、CAE 解析としても一体解析を行う必然性が強い。

３．４．CAEシステムの立案

前項までに示した情報を基に CAE システムの立案を行った。図 2 は CAE システムの入出力情報、パラメータについて図示したものである。図中左が鍛造－熱処理 CAE、図中右が物性値計算 CAE に関する情報の流れである。

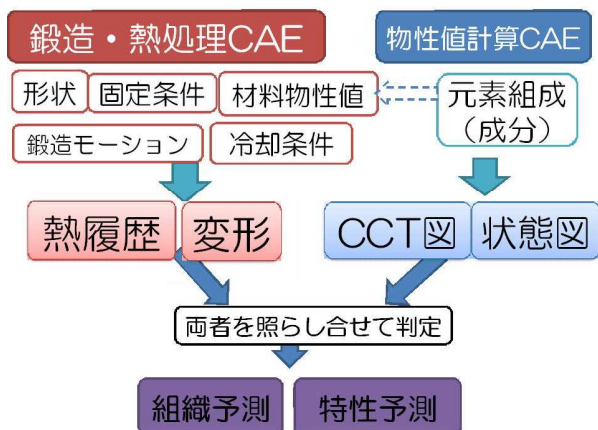



図2 CAEシステムの入出力情報チャート

「鍛造-熱処理一体 CAE」は、大きく別けて、①鍛造・熱処理、②組織、特性予測のプロセスからなる。

① 鍛造・熱処理プロセスは構造解析と熱伝導解析に変態解析も加えたもので、金型、被加工材の形状、材料特性、鍛造モーション、冷却条件を入力し、変形や熱履歴を計算する

② 組織、特性予測プロセスでは、主に①で計算された熱履歴と CCT 図を見比べて、どのような組織が得られるか判定を行う。ここでは、各組織の割合を相分率として、定量的に表現できる点が特徴である。

３．５．物性値計算CAEの活用

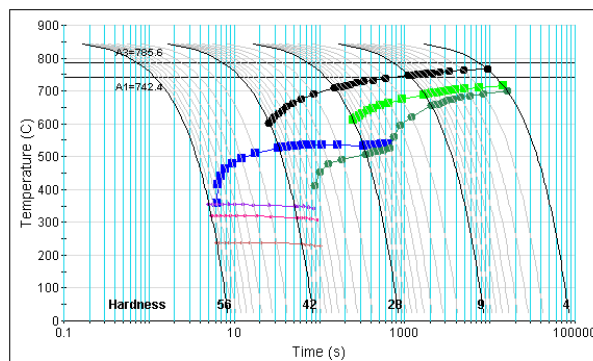
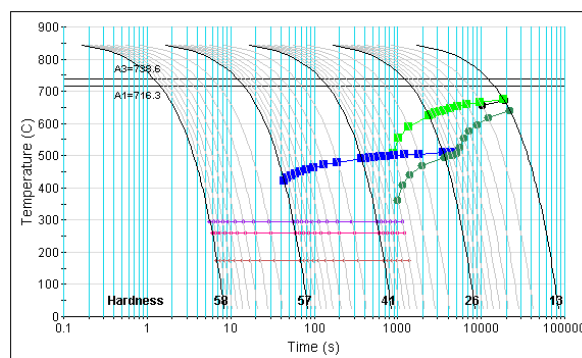
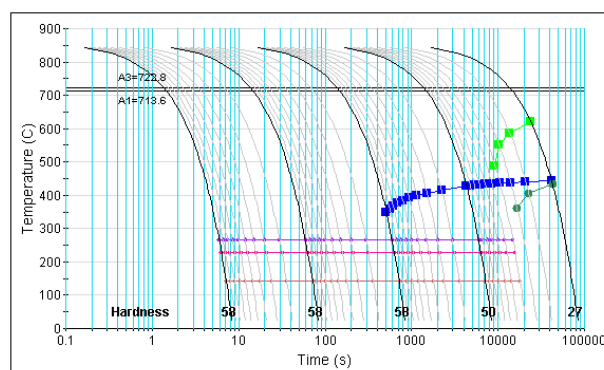
物性値計算 CAE は、もともとは CAE の入力データとなる各種物性値を計算するためのソフトであるが、鋼材に関しては技術的な蓄積が進み、熱力学データベースの利用、Scheil-Guliver モデルによる凝固計算や実験式による補正により、熱処理条件設定に直接かかわる「CCT 線図」などを出力することが可能である。今年度は、「JMat Pro」のデモ計算を実施した。図 3 は鋼種の違いによる CCT 線図の相違を検証したもので、SCM435、SNCM439、SNCM630 の場合である。縦軸に線形目盛で温度を、横軸には対数目盛で時間を記載するため、一定冷却速度の場合の冷却曲線は右肩下がりの放物線となる。通常は複数条件の冷却速度の曲線を記載し、必要に応じ室温まで冷却した場合の硬さを付記する。図中青線がベイナイト変態開始線、350 ℃付近の水平な紫線がマルテンサイト変態開始線である。冷却曲線が青線の左を通ればマルテンサイト変態が生じ焼入れが成功するが、青線と交わるとベイナイト変態が混在し特性が低下する。この 3 鋼種では、青線の先端、いわゆる「ノーズ」位置が大きく異なり、マルテンサイトを得るのに必要な最小の冷却速度を意味する限界冷却速度は約 10 倍ずつ異なる。

（a） SCM435の場合

（b） SNCM439の場合

（c） SNCM630の場合

図3　鋼種別のCCT図計算例

熱処理条件を決める場合、従来は JIS 標準条件を参考にする「鋼種ベース」の設定が常識である。しかし、SCM435 の場合の推奨温度が 830~880 ℃と 50 ℃の温度幅があり非常に大雑把な指定であるため、本開発品

のように、低合金で良い特性を狙うなど素材のポテンシャルを最大限引き出す最適条件を見出すには不都合である。これは表 2 に示すように、化学成分自体の許容幅が比較的大きく、熱処理特性に与える影響が大きいためである。

表2　JISの化学成分許容値

						単位%
種類の記号	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo
SCM435H	0.32～0.39	0.15～0.35	0.55～0.95	0.25以下	0.85～1.25	0.15～0.35
SCM440H	0.37～0.44	0.15～0.35	0.55～0.95	0.25以下	0.85～1.25	0.15～0.35
SNCM439	0.36～0.43	0.15～0.35	0.60～0.90	1.60～2.00	0.60～1.00	0.15～0.35
SNCM630	0.25～0.35	0.15～0.35	0.35～0.60	2.50～3.50	2.50～3.50	0.30～0.70

物性値計算 CAE「JMatPro」の機能面で特筆すべきは、元素組成を直接数値入力して、CCT 線図を算出する利用が可能な点である。鋼材入手時にミルシートに記載された成分分析値を直接入力することで、ロット毎に最適化された元素組成に基づく「成分ベース」の熱処理条件設定に転換することができると期待される。

図 4 は同一鋼種 SCM435 内において、元素組成の違いが CCT 図に及ぼす影響を図示したもので、重要な部分を拡大表示したものである。0.33%C 材と 0.38%C 材の変態曲線は明確にシフトし、臨界冷却速度はそれぞれ 60 ℃/sec と 80 ℃/sec であり比較的大きな違いが確認される。同一条件の冷却であっても、ロット間の化学組成の違いにより仕上がりの特性が異なることが予想される。

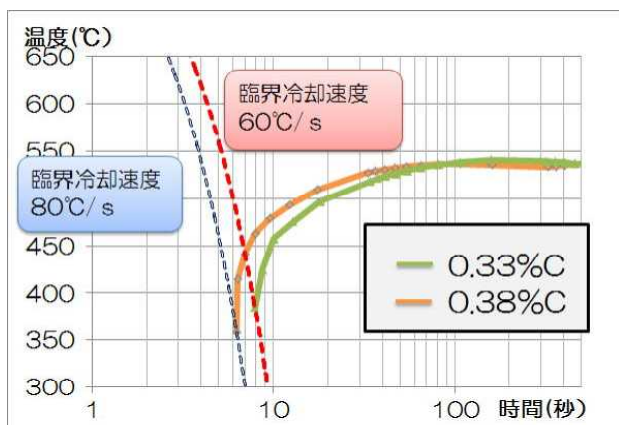



図4　同一鋼種SCM435における変態曲線の違い

本開発品の太径ボルトの中央部では一部ベイナイト変態が生じることで特性が低下し、製品開発上のボトルネックになっているため、同一鋼種内の変態特性の違いを考慮できる物性値計算 CAE「JMatPro」は極めて、有効と見られる。

５．結言

加工熱処理や CAE 解析技術に関する情報収集、CAE システムの立案などを行い、以下の成果を得た。これらは次年度以降の研究計画に反映する。

(1) 加工熱処理で生じるの組織変化を特定し、鍛造-熱処理 CAE と物性値計算 CAE を組み合わせたシステム案を見出した。

(2) 変態特性に及ぼす加熱温度や加工度、結晶粒径の影響や、加工熱処理における変態特性を把握するため、熱処理試験装置と組織観察を利用する必要があることを確認した。

(3) 熱処理特性に与える化学組成の影響を、物性値計算 CAE で定量化する手法を見出した。従来の鋼種ベースの熱処理条件設定から「成分ベース」の設定への転換することで、ロット毎に最適化する手法の有効性を確認した。

スマートフォンを活用した道路状況センシングとその局所的情報交換のための車車間通信の研究開発(第２報)

A research and development of inter-vehicle communications which exchanges road condition sensing and local information with Smartphone (2nd Report)

技術開発部生産・加工科　濱尾和秀　高樋　昌
福島コンピューターシステム株式会社　石川泰弘　橋本健一　本多　悟　本多裕幸　鈴木　豊　本間政広　石山修司
いわき明星大学　櫻井俊明

本報は、車載したスマートフォンで対向車渋滞、凍結路等のセンシングを行い、Bluetooth の車車間通信により、その局所的交通事象情報を交換しあうシステムの研究開発である。車車間通信で取得した情報を適切なタイミングで運転者に提示するため心づもり度合い指標を考案した。併せて運転者の運転負荷状態を検知するための各種センシングを行った。またスマートフォン内蔵センサ値から車の挙動を取得し、車両のつぶやきとして利用することを可能とした。

Key　words:車車間通信、すれちがい通信、Bluetooth、局所交通事象、スマートフォン、心づもり、運転負荷、つぶやき、SNS

１．緒言

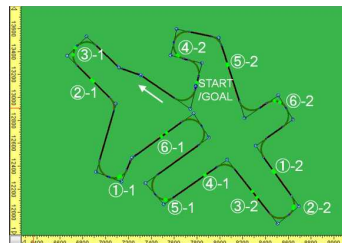
本研究開発は一台のスマートフォンで、凍結路検出、対向車渋滞検出等のセンシングを行い、Bluetooth で車同士のすれちがい通信をしてその局所的情報を交換しあう、最新交通状況の自律的な交換システムを構築する。交換する情報は走行先の局所情報とし、運転負荷(心理的ストレス)を考慮して心づもりを持った運転ができる適切なタイミングで情報を提示する。

気候が大きく異なる福島県土では、出発地は積雪なしでも、走行中積雪のある道路に急変することや、2010 年末の西会津町の一昼夜の事故渋滞、2013 年 2 月の会津北縦貫道路の 70 台以上の事故に見られる様に、走行先の最新情報を持てずに走行する危険性を露呈した。

本研究開発により、気候が大きく異なる福島県内の道路でも、車載スマートフォンがセンシングした情報の交換によって、従来できなかった、これから走行するすぐ先の最新局所道路状況を運転者間で共有でき、運転負荷の軽減が図れ、交通死亡事故の東北一多い福島県にとり、インフラを必要としない本研究開発が有効となる。

以下、２．情報交換データの提示タイミングモデルの実現、３．運転負荷モデルの構築、４．スマートフォンへの実装及びすれちがい通信のテスト、５．凍結路状況検出、６．対向車線の渋滞状況検出、７．車両からのトリガー情報における有効事象の取得、８．実験用 SNS の構築運用の順に取り組み内容を報告する。

２．情報交換データの提示タイミングモデルの実現

車車間通信で交換した交通事象情報を運転者へ提示するためには、適切なタイミングがあると言う仮説を立て、そのタイミングのモデルを平成 23 年度 [1]に構築しドライビングシミュレータを用いた被験者走行実験を図 1 に示すように検証を行った [2]。事象箇所毎のアクセル戻し始め、アクセル全閉、ブレーキ踏み始め、ブレーキ踏力最大、停車位置を実験結果から抽出し分析を行った。その結果仮説は否定されない見込みとなり、交通事象までの距離を表 1 に示す 4 つのステージに区切った中の「事象の顕在化ステージ」が、情報提示タイミングに最良である結果が得られた。

コース俯瞰

注意喚起の表示

事象の停車トラックが出現

図1　ドライビングシミュレータ被験者走行実験

表1 ステージ区分

ステージ	K_{dB} (dB)	RF (1/s)
(1)事象の潜在化	15〜20	〜0.5
(2)緩いブレーキ	20〜25	0.5〜1.0
(3)事象の顕在化	25〜30	1.0〜1.5
(4)急ブレーキ	30〜36	1.5〜2.0

３．運転負荷モデルの構築

運転者の運転負荷状況に応じた情報提示タイミングを考慮するため、運転負荷モデルの構築を行った。運転者の生体計測には、座圧分布、皮膚電位、目の動きを用いてきたが、さらに図２に示すシートベルトのセンサ化に着手し、シートベルトに取り付けた感圧センサ値変化から運転者動作の把握を行った [3]。次にISO26022[4]と NHTSA-2010-0053[5]が示す道路形状と運転者への負荷を考慮したモデルを参考にしたドライビングシミュレータ被験者走行実験を行い [6]、図３に示すように運転席右側が比較的見逃しが多く、特に右下が多い結果が得られた。

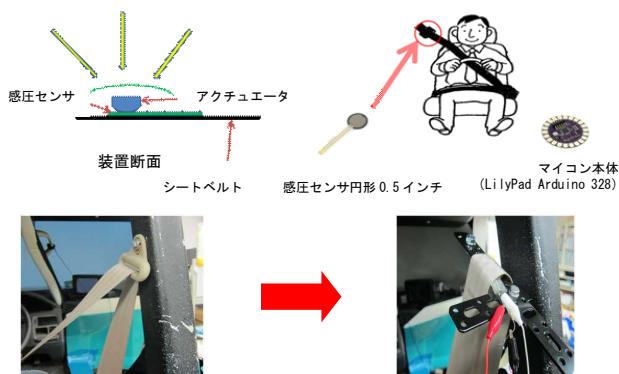



図2 シートベルトを使用した試験システム

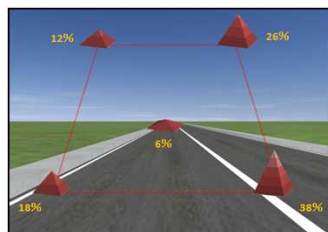



図3 見落とし頻度

４．スマートフォンへの実装及びすれちがい通信のテスト

交通事象情報の通知モデルを定義した。車車間通信の極限られた時間内で交換される情報の中から、運転者にとって最も必要な交通事象情報を選別し適切なタイミングで通知するためのモデルである。概念図を図４に示す。

次に図５に示すようにすれちがい通信の実車実験を行い、表２及び表３の結果のとおり相対速度120km/h(各車両 60km/h で走行)で平均 80%の成功率を達成することができた。

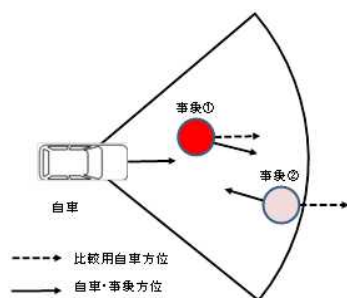
また複数台車両でのすれちがい通信を併せて実施し、構内道路実験の制約から相対速度 60km/h でのすれちがい通信を行い、各条件により 75%~100%で通信を確認できた。本研究で想定している ITS インフラが整備されていない片側１車線の一般道において実用的な車速での通信が達成できた。

事象①は比較用自車方位と事象方位が比較的近似方向にあるため、通知対象事象となる。一方、事象②は事象方位と比較用自車方位の差異が大きく、ほぼ逆方向であるとみなせるため、通知対象とはならない。

図4 通知対象の選択

図5 車載状況と実験の様子

表2 1対1相対速度100km/h

車両① 50km/h			車両② 50km/h		
回数	平均RSSI	成功率	回数	平均RSSI	成功率
10	-81.1dBm	80%	10	-84.0dBm	90%

表3 １対１相対速度120km/h

車両① 60km/h			車両② 60km/h		
回数	平均RSSI	成功率	回数	平均RSSI	成功率
10	-89.6dBm	80%	10	-82.9dBm	80%

５．凍結路状況検出

冬季期間の道路走行で取得した鉛直方向の加速度値及び車窓からの路面画像データから凍結路面検出を行

乾燥路：R_f=0.0530

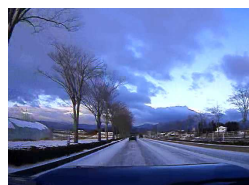
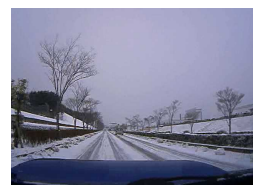
湿路：R_f=0.0481

凍結路：R_f=0.0460

圧雪路：R_f=0.0449

図6 路面と凍結指標の値

表4 路面状況と凍結指標

路面状況	凍結指標 (R_f)
乾燥路	R_f≧0.050
湿潤路	0.050＞R_f≧0.048
凍結路	0.048＞R_f≧0.045
圧雪路	0.045＞R_f

った。鉛直方向の加速度振動からその時刻における加速度値とある周波数の加速度値との割合を求める凍結指標(R_f)を図 6 のとおりとなり、表 4 に示すとおり乾燥路と凍結路との場合わけが求められた。路面画像データからは、二次元ウェーブレット変換による多重解像度解析を行い、乾燥路面、凍結路面、圧雪路面、ザクレ雪路面、シャーベット路面を解析結果の振幅値から分別できる可能性を示した。

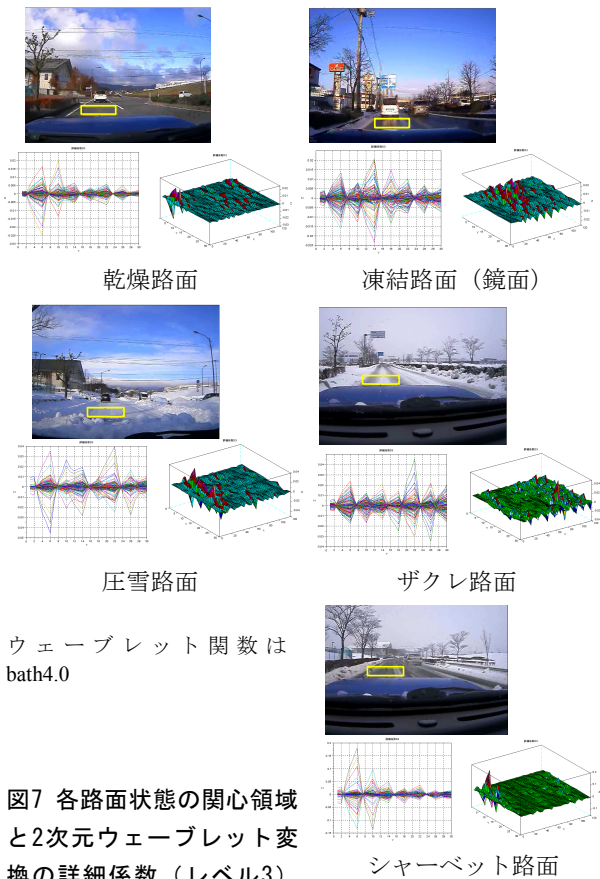



図7 各路面状態の関心領域と2次元ウェーブレット変換の詳細係数（レベル3）

6．対向車線の渋滞状況検出

筆者らの提案するヒストグラムの標準偏差を用いた渋滞検出の手法[7]について、環境変化に伴う画像明度の変化に対応すべく、渋滞判別閾値の適正化処理を図 8 に示すように組み入れた。カーブ・坂道等の道路形状によっては、スマートフォンのカメラに写る対向車線位置が移動してしまうため、対向車線の関心領域を変化させる処理を図 9 に示す処理によって組み入れた。従来の固定関心領域、固定閾値の他に、前述の閾値の適正化処理、変動関心領域処理を併せた渋滞判別評価を行った結果を表 5 に示す。検出率と誤検出率は比例関係であった。停止渋滞及び低速渋滞で渋滞検出処理過程の詳細解析を行い、図 10 に示すように誤検出となる原因を明確に把握した。また渋滞原因の 1 つに工事渋滞があるため、図 11 に示すように画像から工事看板の検出を ORB 特徴量による検出の基礎実験を行った。しかし屋外に置かれた工事看板の検出には至らなかった。

図8 渋滞判別閾値の適正化処理　　図9 変動関心領域処理

（Match Point:2000 点 ⇒ Count 数：8 点）

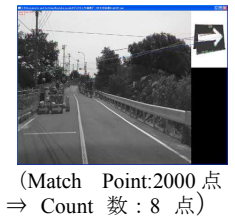
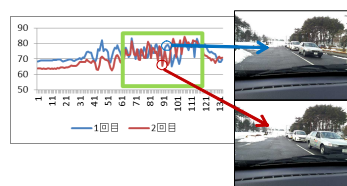



図10 標準偏差の差異と実際のフレーム　　図11 ROI指定なしの解析結果

表5 渋滞検出率

①固定 ROI、固定閾値

	検出率	誤検出率
1 フレーム	89.94%	36.70%
5 フレーム	84.54%	34.40%

②固定 ROI、変動閾値

	検出率	誤検出率
1 フレーム	73.38%	19.35%
5 フレーム	67.40%	17.60%

③変動 ROI、固定閾値

	検出率	誤検出率
1 フレーム	100.00%	38.55%
5 フレーム	100.00%	33.90%

④変動 ROI、変動閾値

	検出率	誤検出率
1 フレーム	100.00%	43.85%
5 フレーム	100.00%	38.95%

7．車両からのトリガー情報における有効事象の取得

車両の挙動及び搭乗者の発声を、その時の道路事象と紐付けた車両のつぶやきとして、SNS サーバへ蓄積利用することを試みた。車両の挙動つぶやきは、急ブレーキを図 12 に示す加速度変化から検出し、図 13 に示すその時の車窓からの画像を併せて取得した。搭乗者の発声つぶやきでは、車室内で発生する多くの騒音源から搭乗者の発声を切り分けるため、図 14 に示すように周波数帯域及び音の大きさを調査した。その結果、走行時のノイズは 8kHz 以下、カーラジオのノイズは 125kHz~4kHz、エアコンは広帯域だが-30dB 以

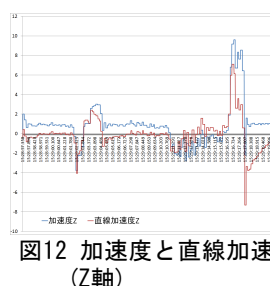



図12 加速度と直線加速度（Z軸）　　図13 SNSアップロード時の動作

下とすることで、実際の発声と切り分けることができ、車両が発するノイズと人間の発声とを切り分けできる可能性が示唆された。

８．実験用SNSの構築運用

車両のつぶやきを蓄積するため、ソーシャル・ネットワーキング・サービスをRESTful Web サービスとして図 15 に示すように構築し車両からのつぶやきを収集した。車車間通信ができない交通流が疎の場合には、図 16 に示ように自車を中心に 1km 四方の車両のつぶやき情報を、スマートフォンが SNS から車両のつぶやき情報をダウンロードして活用することができるようになった。

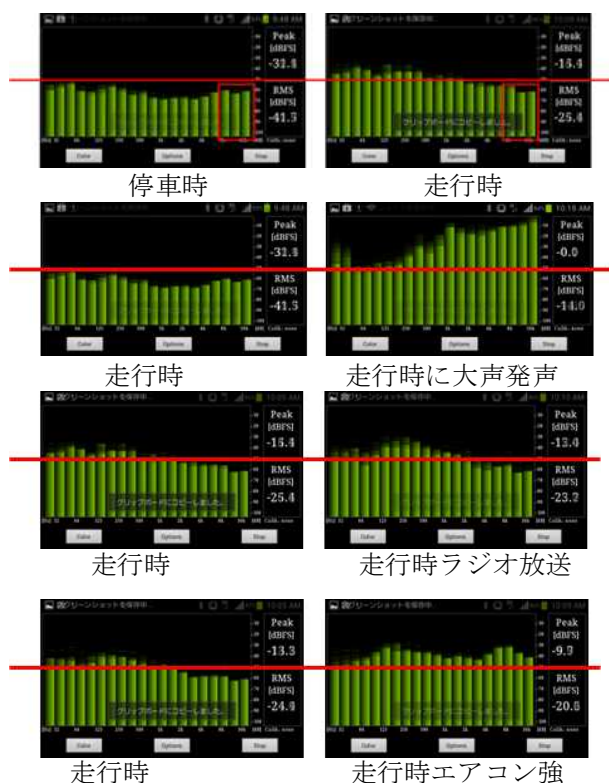



図14 車室内騒音と音声の切り分け

図15 SNS利用イメージ及びアーキテクチャ

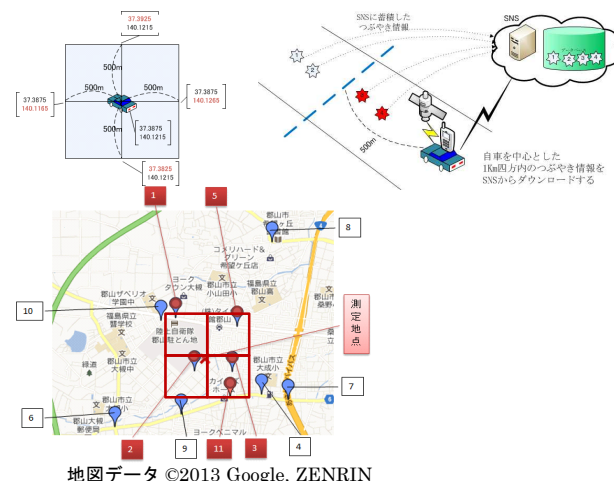



図16 自車を中心とした1km四方のSNSからのダウンロード内容をマッピング

９．結言

本研究開発では、車に搭載したスマートフォンで、対向車線の渋滞状況検出、凍結路状況検出を行い、車両間のすれちがい通信によって情報交換を行えるシステムを構築した。また運転者への情報提供は、運転者の運転負荷に応じた適切なタイミングで情報提示を行えるようにするため、運転者の運転状況センシングの検討及び見逃し傾向位置を把握した。さらに、情報提示する最良の時間を実験から取得した。渋滞情報や急ブレーキなどを車のつぶやきとしてサーバに収集できるようにし、すれちがいをしない交通流が疎の場合に、自車 1km 四方の情報をダウンロードできることを確認した。

今後の課題として、まずは構成要素毎で明らかになった課題の解決を進め、次に公道実験による効果評価を実施し、最終的には筆者等が想定していた 2015 年の実用化を目指していきたい。

謝辞

本研究開発は、平成 24 年度総務省 SCOPE 地域 ICT 振興型研究開発によるものである。関係者の皆様に感謝申し上げます。

参考文献

1)浜尾和秀、高樋昌、石川泰弘、橋本健一、宗像友男、石山修司、櫻井俊明、“ スマートフォンを活用した道路状況センシングとその局所的情報交換のための車車間通信の研究開発(第 1 報)”、福島県ハイテクプラザ試験研究報告書、pp.17-20、2012

2)浜尾和秀、石川泰弘、橋本健一、高樋昌、石山修司、櫻井俊明、“ スマートフォンを活用した道路状況センシングとその局所的情報交換のための車車間通信

の研究開発”、特定非営利活動法人 ITS Japan 第 11 回 ITS シンポジウム Proceedings、pp.205-210、Dec.2012
3)大平裕晃、渋谷浩平、櫻井俊明、"運転者の動作確認に関する基礎的研究"、日本機械学会東北学生会第 43 回卒業研究発表講演会講演論文集、Mar.2013
4)ISO26022、Road vehicles - Ergonomic aspects of transport information and control systems - Simulated lane change test to assess in vehicle secondary task demand、2010-09-01
5)National Highway Traffic Safety Administration、Visual-Manual NHTSA Driver Distraction Guidelines for In-Vehicle Electronic Devices、Docket No. NHTSA-2010-0053
6)渋谷浩平、浜尾和秀、櫻井俊明、“体圧分布変動及び皮膚電位活動を用いた運転者の精神的負荷評価”、日本機械学会 2012 年度年次大会(金沢市)、平成 24 年 9 月 11 日
7)浜尾和秀、鈴木 豊、本間政広、橋本健一、石川泰弘、高樋 昌、石山修司、櫻井俊明、“スマートフォンによる対向車線渋滞検知方法”、電子情報通信学会 2012 年基礎・境界ソサイエティ大会、A-17-4、Sep.2012

水溶性チタン酸バリウム前駆体を用いた高性能 PTC サーミスタ用原料の開発

Development of raw powder for high performance PTC thermistor
by utilizing the water soluble barium titanate precursor

技術開発部工業材料科　　　宇津木隆宏
国立大学法人山形大学工学部　松嶋雄太

高性能で少量・多品種に対応した PTC サーミスタ用の混合粉末の作製技術を確立することを目的として、水溶性チタン酸バリウム前駆体を用いたチタン酸バリウムの合成と、これを用いた PTC サーミスタの作製を行った。合成したチタン酸バリウムについては他の合成手法である水熱法およびシュウ酸塩法で得られたものと微細構造や比表面積について比較を行った。また、PTC サーミスタについては、水熱法で合成された Ba/Ti の比が 1.00 であるチタン酸バリウムを用いて作製したものと温度に対する電気抵抗変化の比較を行い、水溶性前駆体法で得られたものの性能や課題について明らかにした。

Key words:水溶性チタン、前駆体、チタン酸バリウム、PTC、サーミスタ

１．緒言

バッテリー等の大電流・大容量化に伴い、過電流を防止するための PTC サーミスタの重要性が増しており、様々な用途に対応するため、高品質で小回りの利く粉末調製技術が求められている。

しかし PTC サーミスタの研究は積層化による低抵抗化や非鉛化に向かっており、従来の単板型 PTC サーミスタの改善に関する研究が少なくなっている。

我々は水溶性前駆体法により合成した $BaTiO_3$ を用いて単板型 PTC サーミスタを作製することで高性能化を狙っている。この理由としては以下が挙げられる。

(1) 水溶性前駆体法では 500 ℃から $BaTiO_3$ のペロブスカイト相を形成する [1]。この $BaTiO_3$ は微細で反応性が良いため、PTC サーミスタの性能向上を図れる可能性がある。

(2) PTC サーミスタは $BaTiO_3$ に Sr、Pb、Ca、La、Si、Mn などの様々な成分を添加して作製されるものであり、最終的にはこれらが混合した粉末を水溶性前駆体により一括で調製することで、既存の粉末混合のプロセスを改善できる可能性がある。

本報告では(1)の点を明らかにするため、他の手法で得られた $BaTiO_3$ と微細構造と比表面積について比較を行った。また水溶性前駆体法で得られた $BaTiO_3$ を用いて作製した PTC サーミスタについて電気的特性の測定を行った。

２．実験

２．１．$BaTiO_3$の合成とPTCサーミスタの作製

Iwase らによる既往の報告 [2]に準拠して $BaTiO_3$ の合成を行った。まず 100mmol の金属チタン(粒径 nm)を 500 mL の過酸化水素水(特級)と 100mL のアンモニア水(特級)に溶解させた後、500mmol のクエン酸無水(特級)を加えた。これを温水で加熱・振とうして未反応の過酸化水素を除去して、クエン酸チタン水溶液とした。

次に 100mmol の炭酸バリウム(特級)を 500mmol のクエン酸無水水溶液 600mL に溶解させクエン酸バリウム水溶液とした。

調製したクエン酸チタン水溶液とクエン酸バリウム水溶液を混合し、真空凍結乾燥機により水分を除去して黄色の固体状の前駆体を得た。

この前駆体を大気中で 750 ℃、2 時間か焼して白色粉末($BaTiO_3$)を得た。

２．２．PTCサーミスタの作製

２．１で得られた $BaTiO_3$ に Sr、Pb、Ca、La、Si、Mn を所定のモル比で添加し、イソプロピルアルコール中でバインダーとともに湿式混合し、乾燥・分級したものを一定重量分取して 5mmφ の金型で円盤状に成形した。これを電気炉で大気中 1,320 ℃で 1 時間焼成し、黒色の焼結体を得た。

２．３．特性評価

２．１で得られた $BaTiO_3$ について電子顕微鏡(SEM)による形態観察、BET 法による比表面積測定を行った。また２．２で得られた焼結体については写真撮影の後、円盤の上下にインジウム-ガリウム金属を塗布して温度に対する電気抵抗変化を測定した。

比較のために $BaTiO_3$ については水熱法およびシュウ酸塩法で作製した $BaTiO_3$ を 750 ℃で 2 時間処理した後、同様の特性評価を行った。また水熱法で得られた市販の $BaTiO_3$(分析値 Ba/Ti=1.00)を用いて２．２の手順で焼結体を作製し、温度に対する電気抵抗変化を測定した。

３．結果と考察

３．１．SEM観察

SEM による観察結果を図 1 に示す。水溶性前駆体法による粉末ではサブミクロンサイズの微細な粒子が凝集している様子が観察され、水熱法による粉末と似

た外観であった。またシュウ酸塩法による粉末は微細な粒子は観察されず大きな数ミクロンサイズの粗大な塊が観察された。シュウ酸塩法による最終的な分解温度は 750 ℃と報告されており[2]、今回作製した試料では分解が不十分であるためと考えられる。

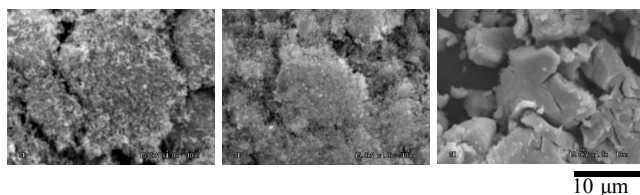



図1　電子顕微鏡観察結果
（左：水熱法　中：水溶性前駆体法　右：シュウ酸塩法）

３．２．比表面積

BET 法による比表面積測定結果を表 1 に示す。水溶性前駆体法による粉末が 1.9×10^1 m²/g と最も大きな比表面積であった。水熱法による粉末は SEM では水溶性前駆体法による粉末と似た外観であったが、比表面積については 7.6×10^0 m²/g と半分以下であった。シュウ酸塩法は SEM による粗大な外観にも関わらず、比表面積は 1.2×10^1 m²/g と大きな違いはなかった。

表1　比表面積測定結果

合成法	水熱法	水溶性前駆体法	シュウ酸塩法
比表面積 /$m^2\cdot g^{-1}$	7.6×10^0	1.9×10^1	1.2×10^1

３．３．焼結体

作製した焼結体の外観を図 2 に示す。水熱法による $BaTiO_3$ 用いた場合は黒色の均一な外観であったのに対し、水溶性前駆体法による $BaTiO_3$ を用いた場合は薄い茶色の部分が見られた。黒色外観は La の固溶による半導体化によるものであることから、薄い茶色の部分は半導体化が不十分である可能性が考えられる。

図2　焼結体の外観
（左：水熱法による$BaTiO_3$を用いた場合
右：水溶性前駆体法による$BaTiO_3$を用いた場合）

３．４．温度に対する電気抵抗変化

20~175 ℃の範囲における焼結体の電気抵抗変化を図 3 に示す。どちらの焼結体でも $BaTiO_3$ のキュリー温度である 130 ℃付近から電気抵抗が急激に増加する PTC 特性を示した。室温(25 ℃)における電気抵抗には違いがあり、水熱法で得られた $BaTiO_3$ を用いた場合は 2.5 Ω であったのに対し、水溶性前駆体法で得られた $BaTiO_3$ を用いた場合は 15Ω であった。この結果は、３．３で示した焼結体の半導体化が不十分である推測と傾向が一致している。

今回は $BaTiO_3$ の製法以外はすべて同条件で PTC サーミスタを作製しているため、電気抵抗の違いは $BaTiO_3$ の違いにあると考えられる。可能性として考えられるのが Ba/Ti の比であり、量論比からのズレが生じると電気抵抗に変化が生じる報告[3-4]がなされている。水熱法の市販品は分析値として Ba/Ti=1.00 となっていることから、水溶性前駆体法による $BaTiO_3$ の Ba/Ti 比が 1 からずれている可能性が考えられる。

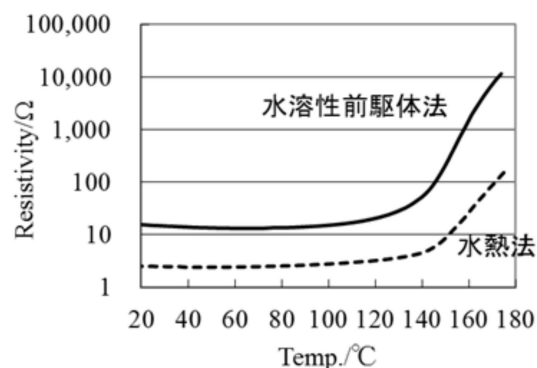



図3　温度に対する電気抵抗変化

４．結言

本報告ではクエン酸を用いた水溶性前駆体法により $BaTiO_3$ を合成し、これを用いて PTC サーミスタを作製した。他の手法で得られた $BaTiO_3$ と比較し以下の知見を得た。

(1)　水熱法と似たサブミクロンサイズの微細な粉末が得られた。
(2)　750 ℃で 2 時間処理した粉末の比表面積は水熱法やシュウ酸塩法と比べて大きな値であった。
(3)　水溶性前駆体法で得られた $BaTiO_3$ を用いて PTC サーミスタを作製した結果、水熱法で得られた $BaTiO_3$ を用いて作製したものよりも室温での電気抵抗が高くなった。
(4)　(3)の原因として原因として Ba/Ti 比の 1 からのズレが考えられたため、精密な組成解析が必要と考えられた。

謝辞

本研究は独立行政法人科学技術振興機構復興促進プログラム(A-STEP・探索タイプ)「水溶性チタン酸バリウム前駆体を用いた高性能 PTC サーミスタ用原料の開発」により行われた。

参考文献

1)K.Iwase et al. *J.Sol-Gel.Sci.Technol*. 2012, **64**(1), pp.170-177.
2)H.S.Gopalakrishnamurthy et al. *J.Inorg.Nucl.Chem*. 1975, **37,** pp.891-898.
3)H.Niimi et al. *J.Am.Ceram.Soc.* 2007, **80**, pp.1817-1821.
4)G.Liu et al. *J.Mater.Sci*. 1999, **34**, pp.4439-4435.

LNG タンク内巨大構造物への疲労強度設計・強度保証技術の適用

Application of Fatigue Strength Design and Strength Guarantee Technology
to the Gigantic structure in LNG tank

技術開発部工業材料科　　工藤弘行　伊藤弘康
ムサシノ機器株式会社　　杉山直樹　木村直樹

本研究開発では、LNG タンク内液面計に付属する数十 m 長の巨大構造物に対し疲労強度設計・強度保証技術を適用した。数十年レベルの耐用年数を実現するため、マルチスケール CAE、実大試験を対象とした疲労試験を実施した。この結果、実製品におけるの負荷が疲労限度より大幅に小さいことを確認し、長期信頼性を確保することができた。
Key words:強度設計、強度保証、マルチスケール CAE、局所ひずみ、疲労試験

１．緒言

工業製品の破壊事故に関する統計によると、事故の70~90%で、何らかの形で疲労現象が係わっていると言われる。疲労現象の重要性は古くから認識されており、1970~80 年代には、現在と同等の疲労特性データベースや設計手法が整備されている。しかし、その後、数十年が経過しても、疲労事故が減ることは無く、長期間に渡たる構造物の信頼性をいかにして確保するかは、依然として様々な分野において課題であり続けている。さらに、昨今の重大な破壊事故をきっかけに長期信頼性への注目度は増しており、強度が重要視される分野では強度保証自体が製品の差別化、アピールポイントとなることから、企業戦略の面からも重要度が増している。

長期信頼性を確保するには、詳細で厳密な設計や実構造の疲労試験を行うのが理想であるが、その実施には多大な時間、コストや特有の専門知識を要するため、船舶、建機、自動車、巨大プラントなど経済規模の大きい分野、安全性に対する社会的要求が厳しい分野などに適用が限られている。それ以外の分野では、有効な疲労設計を行うことができず、特に多品種の製品を扱う場合や、全く新規の案件を立ち上げる場合には、様々なトラブルを防ぎ切れていないのが実状である。ここで重要なのは、技術的には既に十分な手法があるにも関わらず、事故が起きた際の影響を軽視し費用対利益のバランスという経済合理性の判断から、適切な設計や試験がなされず社会の安心・安全を脅かしているという点である。

上記のように、企業のものづくりへの利用だけでなく、社会基盤技術という観点からも、少ないコストで従来手法と同等の安全性を確保できるコストパフォーマンスの良い強度設計手法が求められている。近年、これを可能とする新しいアプローチとして「実大試験による強度保証」が提案されている。これは通常の強度設計に加え、実製品の危険部に的を絞った実大試験によって安全を保証しようというアイデアであり、近年のコンピュータ・シミュレーション(CAE)技術、変位・ひずみ測定技術の進歩、材料強度学や破壊力学の適用の広まり、関連する事例・ノウハウの共有などにより実用が現実的になっている。

以上より、本研究では CAE 解析による応力解析や、疲労設計、実大試験による振動耐久試験により、従来手法に比べ短時間、低コストで構造物の長期信頼性を確保する手法を確立することを目標とする。

本研究は JST の復興促進プログラム(マッチング促進・可能性試験)によるものであり、実施年度は平成 24 年度である。

２．試験方法および評価手法

本報告では、実大試験に用いた 2.5m 長の試験サンプルを対象とした解析例、試験結果例について記載する。

２．１．マルチスケールCAEによる応力解析、固有値解析

本開発品は数十 m 長の巨大構造物であるのに対し、破壊危険性の高い溶接部寸法は数 mm とスケールが極端に異なるため、同一の CAE 解析モデルとした場合、解析モデルが不必要に巨大化したり、解析精度が低下するなどの不都合が生じる。この問題を解決するために、本研究では複数のスケールの CAE 解析を連携するマルチスケール CAE 手法を適用し、構造物全体モデルと溶接部詳細モデルを用いる。実大試験にて共振現象を利用した疲労試験を実施するため、全体モデルを用いて固有値解析を行う。また、破断危険性が高い溶接部周辺の応力分布を正確に把握するため、詳細モデルの解析を行う。

２．２．局所ひずみ基準の疲労強度設計

従来の疲労設計手法は、製品の代表寸法から計算される「公称応力」基準のものであり、複雑な工業製品ではあまり精度は高くない。さらに、工業製品の一般的な溶接止端部は、極めて鋭い形状を持つ応力特異点(図 1 参照)となるため、応力集中係数、切欠き係数を用いる従来の疲労設計は適用できない。

これに対し、破壊危険性の高い箇所をピンポイントで測定する「局所ひずみ」手法が提案されている。この手法は、ひずみゲージで実測できる中間領域(図 1参照)のひずみを基準とすることを意味し、継手の様式を問わず同一の疲労特性カーブ(マスターカーブ)を利用することが可能となり、非常に利便性が良い。

安全余裕度の指標としては、信頼度を用いる。材料自身の疲労特性にばらつきがあることから、これを正規分布として扱い、負荷ひずみを疲労限界の平均値－3×σ(標準偏差)　以下に抑えることで、99.7%の信頼度を確保することが可能である。

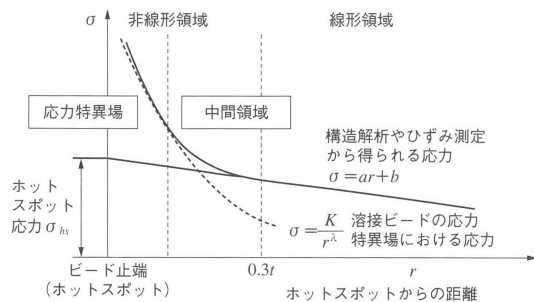



図1　応力特異点の応力分布
（参考文献(1)より引用）

２．３．実大試験の実施

溶接部は、溶融・凝固という過程を経て組織形成されるため、寸法形状の依存性が強く、実製品と全く同一の寸法形状の試験「実大試験」を行う必要がある。本研究では、実製品と同一寸法で長さのみ 2.5m と変更した試験片に対象に、フランジ部溶接部に着目した疲労特性評価を行う。従来研究の成果である振動試験機を用い共振現象を利用した疲労試験を行う。この手法は、一般的な油圧駆動の試験機に比べ、数分の一以下の時間で 10 の 6 乗回の負荷が可能である。

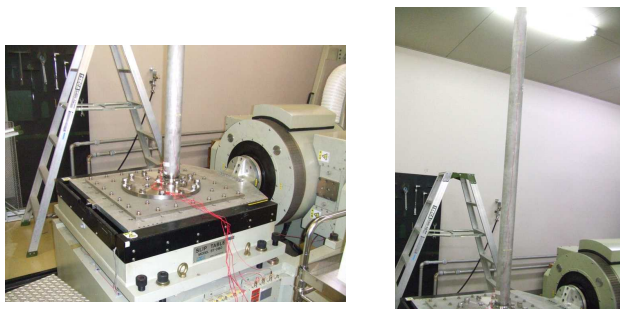



図2　実大試験サンプル設置状況
（振動試験機による耐久試験）

３．試験結果と考察

３．１．マルチスケールCAEによる応力解析、固有値解析

CAE 解析はサンプル全体を対象とする全体モデルと、溶接部周辺の詳細モデルの 2 種類の解析を実施した。図 3 は φ180 パイプの全体モデルによる固有値解析例である。左から 1 次、2 次、3 次のモードであり、共振周波数は、それぞれ 14、85、235Hz である。解析モデルはシェル要素を用い溶接部構造を簡易化している。

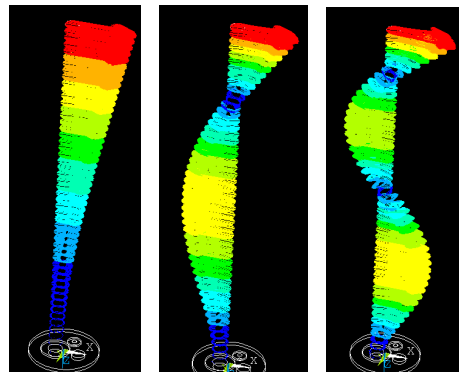



図3　全体モデル固有値解析結果

図 4 は詳細モデルの解析例であり、突合せ溶接構造の場合である。解析モデルはソリッド要素を用い、フランジより 1m の位置に 100N の荷重を与え、継手に 100N・m のモーメントを付与した計算を実施した。

また、実大試験のひずみ測定との整合性を高めるため、図 5 に示す実大試験で使用した 1mm ひずみゲージの測定位置に対応する部位を細密に要素分割して解析を行った。図 6 はひずみ分布の結果を示したもので、左が突合せ溶接構造、右が隅肉溶接構造の場合である。分布状況をより良く把握するため、仮想断面による表示を適用している。

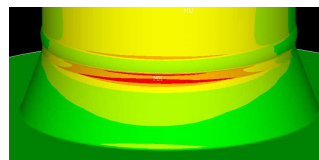



図4 詳細モデルの応力分布

図5ひずみ測定位置

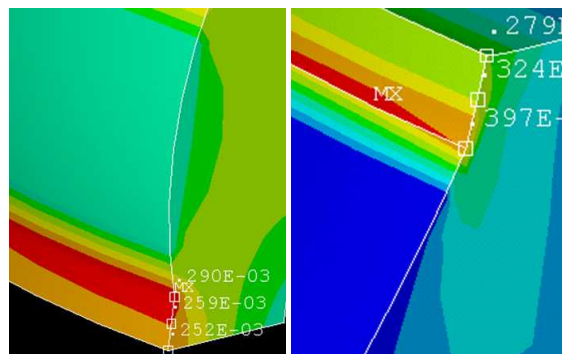



図6 溶接部止端部のひずみ分布結果

表 1 は、詳細モデル解析結果と実サンプルの実測を比較したもので、100N・m のモーメント付与した場合の結果であるが、非常に高精度の解析が可能であった。比較的、差異が大きい小パイプ、隅肉溶接条件のサンプルを確認した所、ひずみゲージの貼付位置が 0.5mm 程度ずれており、今後は、試験後に貼付位置の顕微鏡観察を行い、測定結果の補正などが望ましいと思われる。

詳細モデルの溶接部ビード、隅肉形状は理想化されているため、実物との違いがある程度存在する。よって、既に十分な精度を得たと判断でき、以後の類似形状の設計では試作品を作成しないバーチャル設計・試作を適用し設計を効率化することが可能である。

表1　詳細モデル結果と実サンプル測定の比較

Pipe	溶接構造	CAE詳細モデルのひずみ(με)	実大試験のひずみ(με)
大パイプ	突合せ	30	27
	隅肉	51	51
小パイプ	突合せ	239	266
	隅肉	333	266

３．２．局所ひずみ基準の疲労強度設計

複数スケールの CAE や実大試験の情報を連携する手法として、継手に付与されるモーメントを基準とする方法を用いる。これは、フランジ周辺の応力やひずみの分布は、モデル形状や要素分割の影響を受けるためである。

実製品で想定されるモーメントから、ひずみ分布を算出した結果、最大で 80με 程度の負荷であることが分かった。一方、図 7 は局所ひずみ基準の疲労特性を示すマスターカーブであるが、疲労破壊の下限値は 250με 程度であり、大幅な安全余裕度を確認することができた。

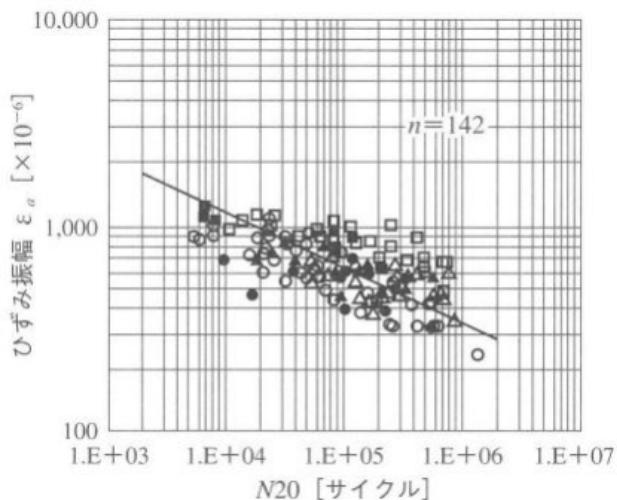



図7　局所ひずみ基準のひずみ振幅−寿命回数グラフ
（参考文献(1)より引用）

３．３．実大試験の実施

本手法は、共振現象を利用することが特徴であるため、はじめに共振探索試験を行った。図 8 は結果の一例であり、11Hz 付近で約 30 倍の共振倍率を確認した。共振周波数付近の周波数で疲労試験を行うことにより、小さな負荷でも大きな負荷を与え、効率の良い試験が可能である。CAE 解析より求めた固有周波数は 13.8Hz であり、やや異なるが、これは CAE 解析がフランジや溶接部構造を無視した簡易モデルを用いているためと思われる。

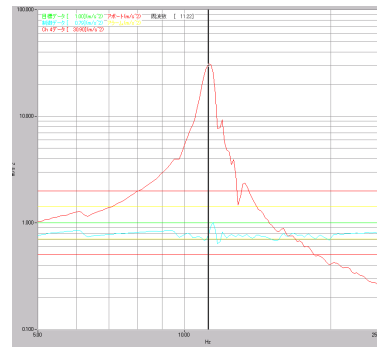



図8 共振探索試験結果

図 9 は共振探索試験時のひずみ測定結果であり、左図が全体図で、加速度とひずみは連動することを確認した。概ね、0.2~1m/s^2 と非常に小さい入力加速度で、200~1,000με のひずみ付与が可能である。図 7 によると、この加速度範囲で想定される疲労試験におけるひずみ振幅の範囲を網羅しており、巨大試験片であっても安全な試験が可能である。図 9 右はピーク部拡大図であるが、1 秒間で約 30 回の負荷が可能である。

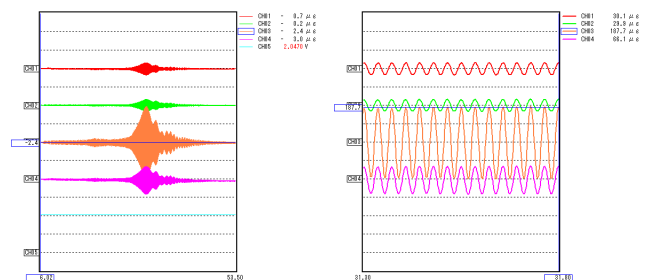



図9 溶接部止端部のひずみ分布結果

以上で得られた情報を基に共振周波数近傍の振動を継続的に付与する耐久試験を実施した。図 7 に示す参考文献のマスターカーブと本開発品の耐久試験と整合性があるか確認する必要がある。耐久試験のひずみ振幅は 70、125、150、350με の 4 条件とした。負荷回数は上限 10 の 6 乗回程度とした。これは溶接部止端部は応力集中と残留応力の影響により既にき裂が存在する状態に近く、疲労限度が出現する負荷回数が平滑部より少ないためである。表 2 に、試験結果の一覧を示す。いずれの条件でも、破断等、外観上の異常は見られなかった。

従来の研究結果から、破壊の前兆現象が生じるとサンプルの共振周波数がシフトし、寿命判定に利用できることが分かっている。今回の試験では、ほぼマスターカーブ上である 350με 負荷で共振周波数が 1Hz 低下し、その他の条件では変化は見られなかった。

図 10 に、マスターカーブ上に耐久試験結果をプロットしたグラフを示す。図中〇は、共振周波数の変化がなかった試験結果、★マークは、共振周波数の変化があった試験結果である。まだ、試験サンプル数が少ないもののマスターカーブと概ね矛盾のない結果が得られている。

表2　耐久試験結果

Pipe	No.	ひずみ振幅(με)	負荷回数	共振周波数(Hz)	
				開始時	終了時
大パイプ	No.1	70	1.0E6	10.98	10.95
	No.2	125	1.0E6	10.98	10.98
小パイプ	No.3	350	8.0E5	28.22	27.42
	No.4	150	8.0E5	28.20	28.14

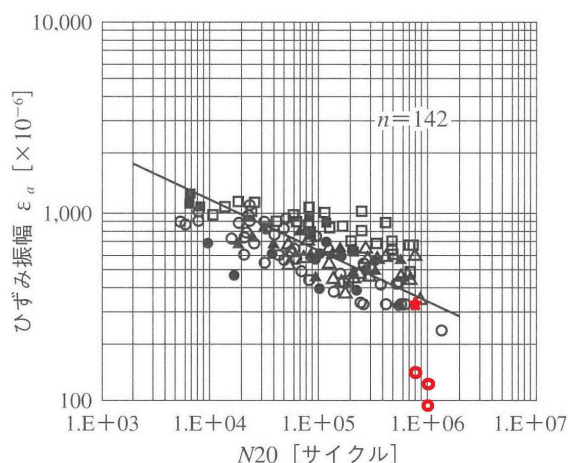



図10 マスターカーブと耐久試験結果

４．結言

巨大構造物の長期信頼性を確保するため、CAE 解析、強度設計、耐久試験を行い、以下の成果を得た。

(1)　マルチスケール CAE 技術を適用し、効率良く、高精度なひずみ分布把握が可能となり、バーチャル設計・試作の実用性を確認した。

(2)　実製品で想定される負荷は局所ひずみで 80μ 程度であり、破壊の下限値である 250με より大幅に小さいことを確認した。

(3)　フランジ部溶接部を対象とした実大試験として、振動試験機を用いた振動耐久試験により、数十年単位の負荷に相当する 10 の 6 乗回の負荷回数を 9 時間~26 時間で付与することが可能であった。また、共振周波数の変化による寿命判定で、マスターカーブと本研究品の整合性を確認した。

参考文献

1) 鯉渕ら：“事例で分かる製品開発のための材料力学と疲労設計入門”、日刊工業新聞

生体分子のセンシングデバイスへ応用可能な
マイクロ流路用金型の作製技術開発

Development of micro-patterned molds used in microfluidic chips for measurement of biomolecules

技術開発部生産・加工科　安齋弘樹　市川俊基
技術開発部工業材料科　宇津木隆宏
株式会社エム・ティ・アイ　元井泰二郎　元井広樹　齊藤伸寿　志賀直子
独立行政法人産業技術総合研究所　鳥村政基　黒澤茂　丹羽修　栗田僚二　加藤大

ゴム、および樹脂製マイクロ流路デバイスの作製には金型が必要であるが、研究段階では樹脂型、量産段階では金属型と各工程において使用される金型が異なっているため、各工程毎に金型の検証が必要となる。そこで、本研究では金型基板上に直接フォトリソグラフィとめっきを組合せることで、研究段階から量産工程まで使用可能な安価で、耐久性を有する金型の作製技術の開発を行った。今年度は、めっき条件を変更した場合の基板と密着性の影響を調べ、ストライクめっきの時間を長くすることで安定してめっき構造体を作製出来ることが分かった。

Key　words:マイクロ流路デバイス、金型、めっきの密着性

１．緒言

マイクロ流路デバイスは、環境計測やバイオ分野において、従来ビーカー等で行っていた化学反応や化学分析を、幅数十から数百 μm、深さ数十 μm 程度の溝を用いて行うもので、反応時間の短縮や溶液量が少ないといったメリットがある。素材としては、ガラス、ポリジメチルシロキサン(以下、PDMS)、およびプラスチックが用いられており PDMS やプラスチックで作製するには金型が必要となる。研究段階では安価なレジスト型が用いられ、量産段階では耐久性を有する金属型と、各工程毎に異なる金型が用いられるため、研究から試作・量産に移行する際に金型の仕様変更が必要となり、製品化が遅れる要因の一つとなっている。

そこで本研究では、研究から量産まで対応可能な安価かつ耐久性を有する金型の作製技術の開発を行った。

２．実験

２．１．金型の作製方法の検討

金型は一般的にマシニングセンタ等を用いた切削加工、放電加工等の被切削加工により作製されている。しかしながら、今回目標としているマイクロ化学チップを作製するためには、広い面積に幅数十 μm、高さ数十 μm の凸形状を複数有する金型が必要となる。この形状を上記の方法で作製する場合、いくつかの問題がある。

例えば、マシニングセンタは、刃物を用いて金型を加工するため、加工形状が工具に依存する。近年は、小径の工具も開発されているが、切込みが少ないため加工に時間がかかり、またコーナー部が必ずR形状となる問題もある。

放電加工においても、電極を小さくし、放電エネルギーを小さくすることで微細形状の加工は可能であるが、加工除去量が小さくなるためマシニングセンタと同様に加工に時間がかかり、また加工痕が残る問題もある。

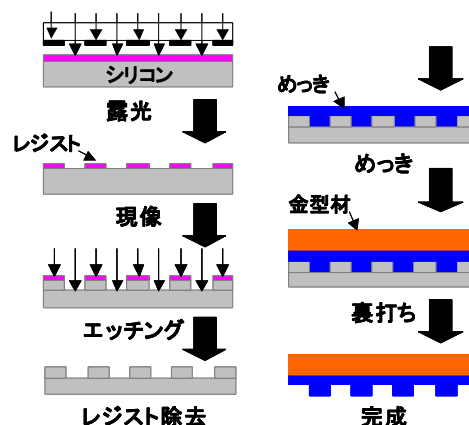



図1　従来の作製方法の例

そこで近年、フォトリソグラフィとめっきを用いた金型作製方法が検討されている(図 1)。これは、フォトリソグラフィによりレジストをパターニングし、これを保護膜として ICP エッチング等のドライエッチングにより垂直に加工する。これを原型にし、ニッケル電鋳により形状を転写、それを金型材に接着(裏打ち)させ、微細構造を作製方法である。この方法により、アスペクト比 10 以上の微細形状の作製も可能であるが、めっきに時間がかかる、煩雑な裏打ち工程が必要となるといったデメリットもある。

そこで本研究では、図 2 に示すように、金属基板上に直接フォトリソグラフィとめっきを行うことで、幅数十 μm、高さ数十 μm の微細形状を作製する方法を検討した。これは、フォトリソグラフィにより金型基板上にレジストをパターニングし、その後電気めっきを行う方法である。

始めに、フォトリソグラフィにより金型基板上にレ

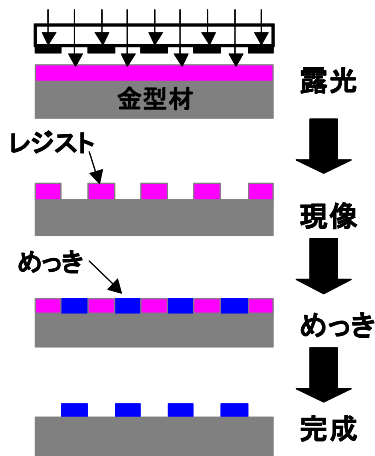



図2　本研究の作製法

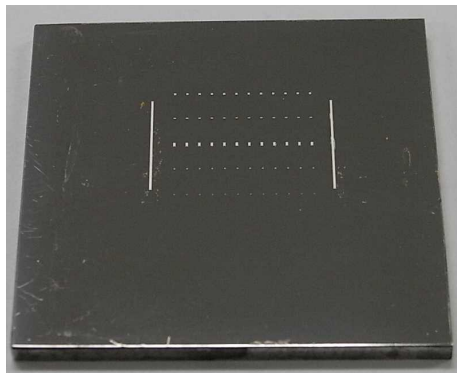



図3　試験片の外観

ジストをパターニングし、その後電気めっきを行う。ここで、レジストは絶縁物のため、露出した金属面にのみ、めっきが行われ形状が作製される。この方法では、従来のようにアスペクト比 10 以上の微細形状は作製できないが、金型基板に直接めっきを行うため、短時間での作製が可能である。

今回は、フォトレジストに厚膜形成が可能な化薬マイクロケム(株)の SU-8 を用い、めっきにはストライクめっき(全塩化物ニッケル浴)を下地めっきとして、その上にスルファミン酸ニッケル浴により数十 μm の膜厚を形成している。

２．２．めっきの密着性評価

本研究では、研究から量産まで対応可能な金型を想定しているため、基板とめっきの密着性が重要となる。そこで、シェアテストにより密着性の評価を行った。測定原理としては基板上面から設定した値の高さで、荷重センサの先端に設置されたツールにより測定物にせん断力を加え、破壊した時の力を測定するものである。試験機としては、(株)レスカ製の STR-1100 を用いた。

密着性試験に用いたテストパターンは、□200×200μm、□200×100μm、□200×400μm、□100×100μm の 4 種類を各 12 個配置した形状とし、めっき条件はストライクめっき時の電流密度を 3A/dm^2、

表1　□200×200μmの密着性試験結果　（単位：g）

	1min	3min	5min
平均	952	1,219	1,895
最大値	1,786	1,640	1,913
最小値	20	737	1,847

表2　□200×100μmの密着性試験結果　（単位：g）

	1min	3min	5min
平均	455	681	822
最大値	1,213	1,305	1,143
最小値	25	142	550

表3　□200×400μmの密着性試験結果　（単位：g）

	1min	3min	5min
平均	1,689	1,713	2,347
最大値	2,312	2,414	2,539
最小値	742	1,213	2,033

表4　□100×100μmの密着性試験結果　（単位：g）

	1min	3min	5min
平均	144	423	549
最大値	552	597	679
最小値	10	157	317

時間を 1、3、5 分と変化させ、スルファミン酸ニッケル浴により 50μm の厚さとした。作製した試験片の外観を図 3 に、測定結果を表 1 から表 4 に示す。これより、破壊時の最大荷重については時間が変化しても大きな違いはないが、最小荷重については時間が長くなるに従い大きくなっていることが分かる。これは、今回のテストパターンのサイズが比較的小さいため、槽内の撹拌、もしくはレジスト表面の親水性が起因していると考えられる。

また、試験終了後の様子を図 4、および図 5 に示す。これより、破壊時の場所としては、密着性が悪い場合は基板から、良い場合はめっきから破壊が起こることも確認できた。

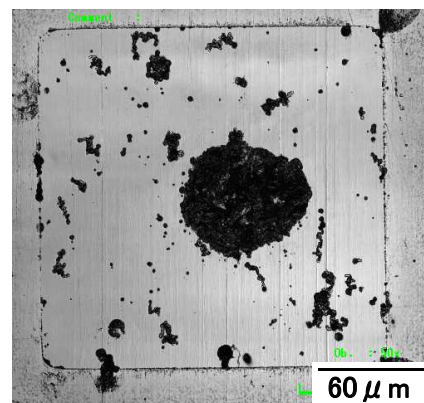



図4　密着性試験後の様子
（基板から破壊、荷重：1.125g）

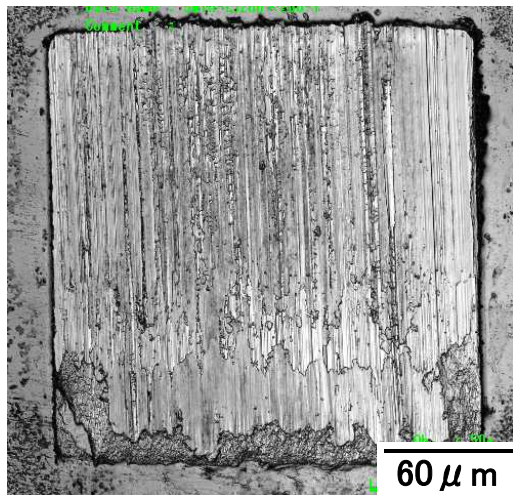



図5　密着性試験後の様子
（めっきから破壊、荷重：1.913g）

３．結言

本研究では、研究から量産まで対応可能な安価、かつ耐久性を有する金型の作製技術の開発を行った。本年度は、めっき条件を変えた場合の密着性への影響を調べ、以下の結果を得ることができた。

(1) 基板上にめっき構造体を作製した際の、基板とめっきの密着性を評価するために、継手強度試験機を用いることで数値化を行うことが出来た。
(2) ストライクめっきの電流密度を 3A/dm^2 に固定し、時間を 1、3、5 分と変化させた場合、時間を長くすることで、安定しためっき構造体が作製できることが分かった。
(3) 基板とめっきの密着が良い場合は、めっき自体から破壊が起こることが分かった。

以上の結果をもとに、来年度は基板とめっきの密着性向上に加え、めっきの平坦化にも取り組む予定である。

最後に、本研究は(独)科学技術振興機構復興促進プログラム(マッチング促進)により得られた成果である。

有色光重合性含漆共重合精製物を応用した製品開発とその耐久性について

Study on the durability of the paint for product development using those colored photopolymerizable copolymer purified product that contains the Japanese lacque

会津若松技術支援センター産業工芸科　　須藤靖典　出羽重遠
三光ライト工業株式会社　中原工場　　酒寄治樹　熊谷有通　滝本明夫
三光ライト工業株式会社　埼玉工場　　大和修

プラスチック素地の他、金属素地への応用を図り、変わりゆく市場の要望に対応すべく初期実験として、SUS 板へ密着性及び伝統的な変わり塗りや加飾等を活用した加工工法を確立し、製品化のための基礎研究を行いました。

Key　words:漆塗装、変塗り、加飾、金属、プライマー

１． 緒言

プラスチック素地への塗装・加飾を目的に密着性、耐擦傷性を中心とした塗装試験や試作等を行ってきた成果を基に、平成 24 年度においては市場の強い要望を受け、金属素地を応用した試作を行ってきた。その際、初期実験として試作素地に SUS 板を応用し、その素地に対して密着性を図るためのプライマーを選択するとともに、中塗り、上塗り塗料の相溶性等を確認するための塗装実験を通して安定した塗装さらには、加飾工法の確立を目指し実験を行った。

２． 実験

２． １． プライマーの選択と塗料の密着性確認

金属面(SUS)の脱脂を目的として、エタノール及び IPA 拭きの他、#1000 の耐水ペーパーで研磨した。その後 1 液型プライマー、アクリルシリコンプライマー、加熱型プライマーを下塗りした後、30~35 ℃で 5~10 分程度の低温乾燥を経て、ウレタン塗料を中塗りした。溶剤を揮発させた後、約 40~45 ℃で 120 分程度の低温焼成を行い、24 時間後に JIS-K-5600 に準じたクロスカット試験によりその密着性を確認した。その結果、加熱型プライマーを除き、いずれのプライマーも密着性が良好であったが安全性・作業性を考慮し 1 液プライマーを選択した(表 1)。

表１　プライマーの選択とその結果

プライマー	中塗り塗料	密着性（研磨なし）	密着性（研磨あり）
1. 1液プライマー　A	ウレタン塗料	○	○
2. 1液プライマー　B	ウレタン塗料	○	○
3. 1液プライマー　C	ウレタン塗料	○	○
4. アクリルシリコンD	ウレタン塗料	○	○
5. 加熱型プライマーE	ウレタン塗料	○やや弱	○やや弱

図1　下地塗膜形成層

図2　上塗り塗膜形成層

２. ２. 塗装及び加飾との密着性

プライマーの密着性確認後改めて、下塗り・中塗り・上塗り・蒔絵を施した 4 種類の厚膜層からの剥離の有・無を確認する目的で JIS-K-5600 に準じクロスカット試験による密着確認を行った。その結果、層間剥離も無く安定した塗膜層が形成(100/100)されていることが確認されたことから(図 1、2)、塗装及び加飾サンプル板の製作(図 3)を行うこととした。仕様は表 2 の通り。

表2　試験塗装仕様

1. ウレタン黒塗立仕上
2. ウレタン塗装後、夜桜仕上げ(肉合蒔絵)
3. 紋紗風塗り
4. 白檀風塗り(青箔(碧)応用)

図3　試作試験板

３．伝統的な変塗り塗装の応用と加飾サンプルの試作

３．１．サンプル板の仕様と評価

２．１と２．２の結果を基に、No.3 の 1 液プライマーを使用し SUS 板へ塗装した。その後、30~35 ℃で 10 分程度乾燥させウレタン塗装を行った。塗装サンプルの仕様は下記の通り。また、評価法については視覚的効果で判断することとした。

1. 黒　塗 + 含漆共重合精製物(透)　(図 4)
2. 螺　鈿 + 含漆共重合精製物(透)　(図 5)
3. 溜　塗 + 含漆共重合精製物(透)　(図 6)
4. 紋　紗 + 含漆共重合精製物(透)　(図 7)
5. 洗　朱 + 含漆共重合精製物(透)　(図 8)
6. 朱　金 + 含漆共重合精製物(透)　(図 9)
7. 金虫喰 + 含漆共重合精製物(透)　(図 10)
8. 絞　立 + 含漆共重合精製物(透)　(図 11)
9. 時　雨 + 含漆共重合精製物(透)　(図 12)
10. 溜　塗 + 含漆共重合精製物(透)+夜桜蒔絵　(図 13)
11. 刷毛目塗　(図 14)

３．２．試作(塗装編)

塗装した試作品を図 4~14 に示す。

図4　No. 1

図5　No. 2

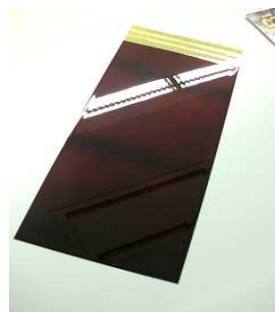



図6　No. 3

図7　No. 4

図8　No. 5

図9　No. 6

図10　No. 7

図11　No. 8

図12　No. 9

図13　No. 10

図14　No. 11

３．３．試作(加飾編)

３．２(塗装編)と同じく、No.3 の 1 液プライマーを使用し SUS 板へ塗装する。その後、30~35 ℃で 10 分程度乾燥させウレタン塗装と蒔絵を行い、加飾サンプル板を作成した。仕様は下記の通り。評価法については３．２と同じく視覚的効果の優劣で判断することとした。加飾した試作品を図 15~23 に示す。

1. ウレタン塗装 + 金箔絵 (図 15)
2. ウレタン塗装 + 銀箔絵 (図 16)
3. ウレタン塗装 + 箔＋黒シルク印刷 (図 17)
4. ウレタン塗装 + 銀箔絵 (図 18)
5. ウレタン塗装 + 銀箔絵 (図 19)
6. ウレタン塗装 + 青箔絵 (図 20)
7. ウレタン塗装 + 消金蒔絵 (図 21)
8. ウレタン塗装 + 夜桜蒔絵 (図 22)
9. ウレタン塗装 + シルク多色刷り＋消金蒔絵 (図 23)

図15　No. 1

図16　No. 2

図17　No. 3

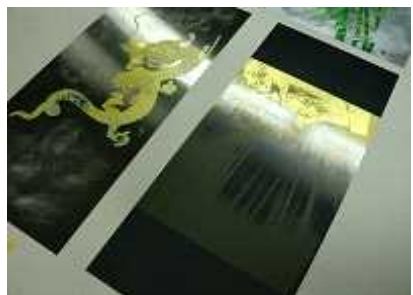



図18　No. 4

図19　No. 5

図20　No. 6

図21　No. 7

図22　No. 8

図23　No. 9

３．４．効果

３．２および３．３で製作した伝統的な変塗り塗装及び加飾のサンプルの中で、既存の装飾工法で表現出来そうなステンシル装飾・加飾を除外し、漆本来の塗膜の肉持ち感と深味、そして蒔絵と称される数種類の独特の表現工法を駆使したサンプルを選択した。その結果、金銀粉などの華美な装飾材料を一切使わず、塗りと蒔絵を同系色で統一し、光沢あるいは見る角度によって文様の有無と凹凸が表現でき加えて、奥行き感・深み感・品格が的確に表現出来る「夜桜蒔絵」と称される伝統工法を応用することとした(図 24)。さらには、金属素地を有効に応用できる類似工法の「溜塗」・「玉虫塗」・「白檀塗」なども実用化の際の選択技法とすることとした。

３．５．漆の美

漆は自然系塗料の代名詞であり、他の合成樹脂塗料と異なり、漆液中に含まれるウルシオールに表面張力がある他、組成物の特徴により、合成樹脂と比較し「肉持ち感」があると言われている。加えて、漆は酸

化重合方式により硬化が促進されることから、その塗膜の色味は塗布直後から温・湿度に影響されながら増していく特徴がある。そして、これらの特徴が金属特有の底光りによって従来にも増し、「深見感」と「肉持ち感」が結果的に表現されたものとなった。この効果は合成樹脂素地では表現が難しく、金属のシルバー色を有効に応用した結果である。

図24　赤溜・黒溜塗装試作

４．その他の試作

４．１．合成樹脂皿への塗装及び加飾試作

平成 24 年度の研究開発では金属筐体への漆塗装と加飾工法を確立する目的から、様々な変塗り工法を応用し試作を行ってきた。今回、その変塗り工法の一部を新規商品である ABS 丸皿素地に応用した。試作では素地が ABS であることから、塗料の密着性は過去の実績から容易に出来るものと考え、加飾に比重を置くこととした。形状はやや凹型となっており、直接シルクスクリーン印刷による加飾工法では、多色刷り加工精度が悪くなることから受託研究では初めて複式転写紙を応用した試作(図 25~26)を製作した。また、その際の工程は表 3、4 のとおりである。

図25　丸皿1

図26　丸皿2

表3　箔応用工程表（図25丸皿1工程）

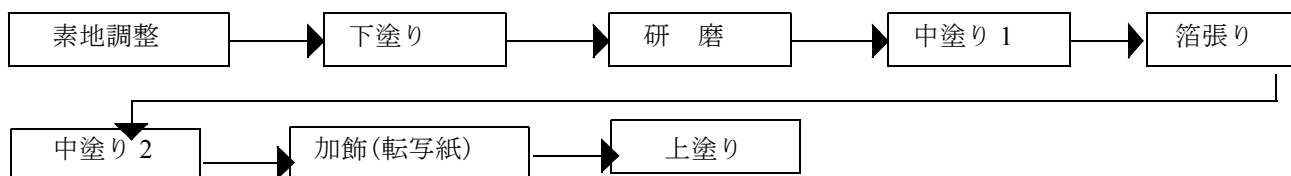
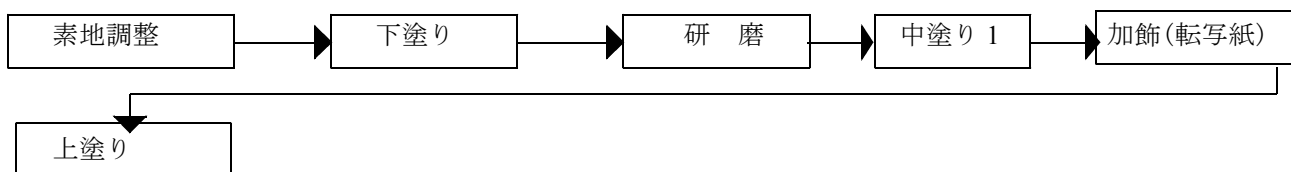



表4　転写紙のみの工程表（図26丸皿2工程）

４．２．転写紙の応用（転写紙の問題点）

市販の転写紙(以下ステンシル)を購入し、未塗装のスマートフォーンカバーへ圧着転写し、上塗りを施した後、商品化を図った。しかし、市販品のステンシルはどの様な材料等を用いて製造されているのか分からず、模様を圧着転写した後に上塗塗装して初めて、弾

きなどの塗装トラブルが発生することが分かった。原因としては複数の要因が考えられるものの、擦り傷対策の目的で貼られている筐体保護カバー用シートのシリコン入り粘着剤が筐体表面に飛散していることで、上塗塗装の際に弾きが生じたものと推測した。(図 27、28、29)そのため、この弾きを防ぐ手段として圧着転写後、筐体本体さらには、ステンシル模様部分を痛めないようにアルコール拭きを行い(エタノール・IPA)シリコン及び油性分を除去する方法を取った。その後の試作では、同様の塗装トラブルを回避するため、上塗塗装面(光重合性含漆共重合塗膜)に直接加飾を行った。

図27　塗装トラブル弾き1

図28　塗装トラブル弾き2

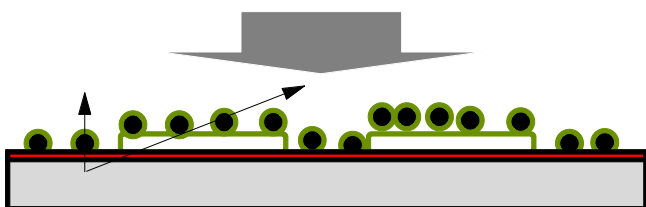



図29　シリコンによる弾き現象

４．３．ステンシルの現状

ステンシルの模様を印刷する際は、レベリングを重視することから各種添加剤が混合されている。特に泡消し(消泡)を目的としたものであるから、添加剤の成分はシリコン系が多く、上塗りした際には弾きが生じる。加えて、市販品のステンシルは圧着転写後、上塗塗装を行うことは基本的に想定していない。しかし、市販のステンシルのメリットは、誰でも自由に購入でき、専門性を持った加飾方法と異なり、形状に柔軟に対応できる加飾性であり、その強力な粘着剤の効果から容易に行える状況にあることから、その活用は今後も伸びる傾向にある。

５．まとめ

５．１．加飾模様のデザインとその表現及び加工工法の確立（地場産業との連携）

市販のステンシルは、通常剥離紙の上に模様を印刷した後、透明な剥離シートがオーバーコートされている。その出来映えはいずれのステンシルも立体的で繊細な加飾が施されており、しかも容易に転写できる様になっている。また、これらのステンシルはオリジナルシールができるキッドも市販されており、年々その需要は高いものがある。しかし、会津漆器においては、装飾効果を重視する目的から塗膜へ直接、シルクスクリーン印刷や手加工による蒔絵が施されており、まだまだステンシルの様な転写技術は定着していない。しかし、近年ステンシルなどの加工技術やそれに伴う材料・道具が充実しており、地場産業で培われてきた塗装技術や蒔絵模様を駆使すればオリジナルステンシル模様を製造できるとともに、使用されている材料・技法が明確であれば、上塗り塗装下に使用できるステンシルの製造が可能となる。ステンシルという呼び名は如何にも安価なものと思われがちであるが、現在ではプラスチックから金属などあらゆる物に応用され、その耐久性も目を見張るものがあることから、地場産業で培われてきた印刷技術・生産力を有効に活用することで、新たな製品開発にも十分に応用が可能な状況にある。

最後に本研究における、関係各位のご協力並びにご尽力に感謝いたします。

ＬＰＳ計測のための微小流路基板及び電気化学セルの開発

Development of microfluidic chips and electrochemical cells for measurement of LPS

技術開発部生産・加工科　安齋弘樹　市川俊基
技術開発部工業材料科　宇津木隆宏
独立行政法人産業技術総合研究所　加藤大

リポ多糖は、体内に入ると発熱性ショック等、生体への影響があるため、体内に導入される医薬品等において厳重な濃度管理が必要である。現在は、リムルス試験により濃度測定を行っているが、試薬が高価である等の問題がある。そこで、マイクロ流路によりリポ多糖を捕捉可能な φ100μm 程度の微粒子を堰き止め、リポ多糖を捕捉後、酵素修飾したリポ多糖認識分子を微粒子上に捕捉、最終的に基質により生成される生成物を電気化学測定により測定することでリポ多糖を検出する方法を検討した。その結果、流路深さが 150μm および 40μm の段差付流路を用いることで微粒子を堰き止めることが出来、電気化学測定によりリポ多糖の濃度測定に用いる p-アミノフェノールの測定を行うことが出来た。

Key　words:リポ多糖、マイクロ流路、電気化学測定、PDMS

１．緒言

現在、組換えタンパク質などのバイオ製品の製造にはグラム陰性細菌が用いられており、この細胞壁外膜成分の 1 つにリポ多糖(Lipopolysaccharide、以下、LPS)がある。この LPS が体内に入ると発熱性のショック症状や、血管内において血液凝固等を引き起こすため、バイオ製品の品質管理上、LPS の濃度の厳重なモニタリングが必要である。既存の LPS 検出方法としては、リムルス試験がある。この方法は LPS を高感度に測定することが可能であるが、測定に時間がかかる、試薬が高価であるといった問題がある。

そこで本研究では、マイクロ流路と、電気化学測定を組合せたることで、リムルス法によらない LPS 検出方法の検討を行った。

２．実験

２．１．マイクロ流路の作製方法

本研究で検討している LPS 検出方法は、マイクロ流路内に LPS を捕捉可能な 100μm 程度の微粒子を堰き止め、LPS を捕捉後、さらに酵素修飾した LPS 認識分子を微粒子上に捕捉し、最終的に基質を導入した際に生成される生成物の量を電気化学測定により測定することで、LPS の濃度を測定する方法である。そのため作製するマイクロ流路としては、電気化学測定に用いる電極を流路内に配置した形状であることに加え、流路内に LPS 分子を濃縮するために、LPS を捕捉可能な φ100μm 程度の微粒子を埋め込み、貯留が可能な堰き止め構造が必要となる。作製するマイクロ流路のイメージを図 1 に示す。これは、電極表面以外に配置した微粒子表面で LPS を捕捉することにより、電極表面の汚染による測定再現性、および応答劣化を防ぐことを目的としている。また、電極を形成する基板としてはシリコン、もしくはガラスを検討していることから、マイクロ流路に張り合わせが容易なポリジメチルシロキサン(以下、PDMS)を用いることとした。

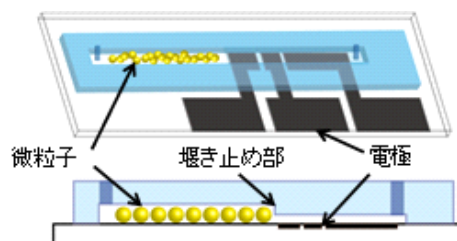



図1　作製するマイクロ流路のイメージ

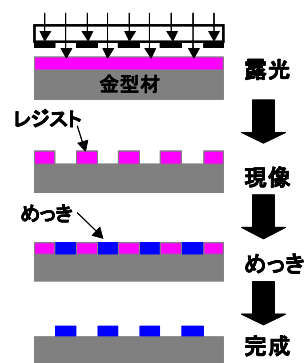



図2　めっきを用いた金型作製方法

ただ、PDMS に流路を形成するためには金型が必要であるため、今回はめっきを用いて金型を作製している。このプロセスを図 2 に示す。これは、金型基板に直接フォトレジストを塗布、パターニング後に、電気めっきを行うことで微細構造体を作製する方法である。これにより高さ数十 μm の微細構造体を作製することが可能であるが、構造体の高さはすべて同じとなる。そこで、これを複数回繰り返すことで、異なる高さを有する構造体の作製を行った。

２．２．流路形状の評価

測定の際に測定溶液の送液の妨げにならない最適なデバイスを構築するために、流路の幅、深さ等を変更

した際の送液、および測定への影響について検討を行った。作製する流路形状としては、T 字形状とした。これは、横長の部分(以下、微粒子導入部)で微粒子の導入、排出を行い、縦長の部分(以下、検出部)で微粒子の堰き止め、および検出を行う構成である。

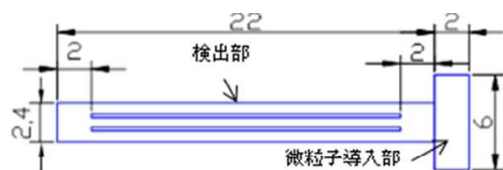



図3　基準の流路形状

始めに、図 3 に示すような形状を基準とし、検出部の幅が 2 倍の形状、および微粒子ビーズ導入部の幅が半分の形状を作製し、流路の評価を行った。今回は、微粒子導入部の深さを 150μm 程度、検出部の深さを 10μm としたが、PDMS にたわみが発生した場合に検出部の流路を塞ぐ可能性がある。そこで、幅 200μm、長さ 18mm の支持用の柱を、検出部の幅 1.2mm については 1 つ、幅 2.4mm については 2 つ設置した。作製した金型の外観、および PDMS で作製した流路の外観を図 4、および図 5 に示す。これを用いて実際に微粒子、および溶液を流し、その流れ方について検討した。

図4　作製した金型の外観

図5　作製したPDMS流路の外観

堰き止め部においては、図 6 のとおり微粒子を堰き止めることが確認できた。一方、検出部においては、幅 2.4mm の流路では支持用の柱が 2 列あるため溶液が 3 列で流れるが、中央と両端で流速が異なり、特に流路中央での送液速度が遅い結果となった(図 7)。これは層流の影響ならびに穴位置(outlet)の影響を受けたためと考えられる。一方、幅 1.2mm の流路では支持用の柱が 1 列だけであるため、流れが一定であった(図 8)。このことから、流れが安定で、流す溶液を少なくできる幅 1.2mm の流路について検討を進めることとした。

次に検出部の流路深さを変更した場合の違いについて評価を行った。流路は、上記の幅 1.2mm の形状を利用し、検出部の深さ 20μm および 40μm の 2 種類、支持用の柱の有無の 2 種類、計 4 種類を作製し、その違いについて評価を行った。

評価方法としては前回と同様に、溶液を流した際の流れ方により行った。その結果、4 種類すべてにおいて溶液が流れることが確認できたが、支持用の柱が有るものついては、柱の無いものと比較し流れが安定しない場合もあった。そこで、検出部の深さが 20μm 以上については、支持用の柱を設置しない流路を用いることとした。

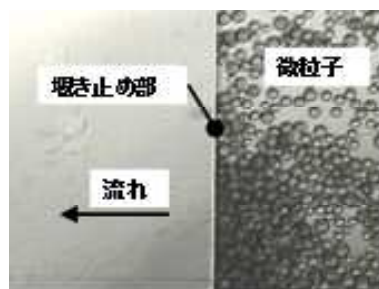



図6　堰き止め部の拡大図

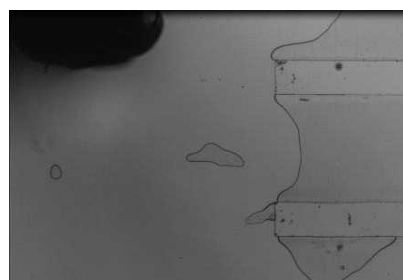



図7　3列の流れの様子

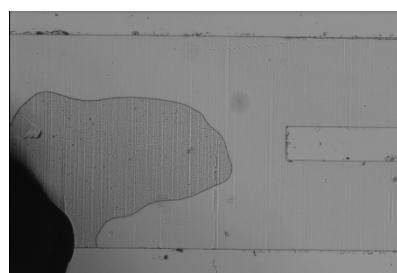



図8　2列の流れの様子

２．３．電気化学測定による流路の評価

これまでの結果をもとに、作製した流路内に電極を配置し、実際に電気化学測定を行うことで流路の評価を行った。電極には、酸化膜付のシリコン基板上に、スパッタ法により作製した厚さ 40nm のナノカーボン膜(作用電極面積=0.036cm^2)を使用した。なお、電極は(独)産業技術総合研究所で作製したものを用いて行っている。図 9 に作製した電極の外観、図 10 に電気化学測定時の様子を示す。

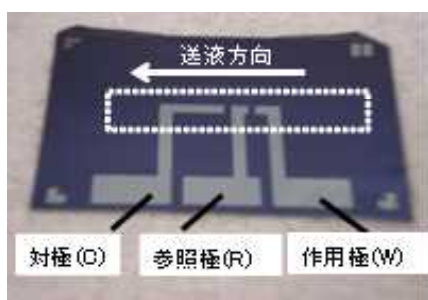



図9　作製した電極の外観

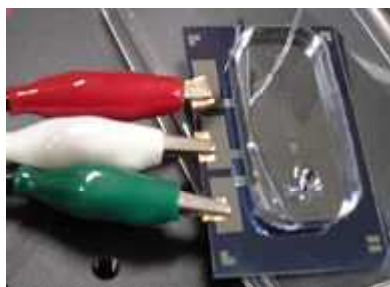



図10　電気化学測定時の様子

始めに、検出部の深さ 40μm の流路の評価を行った。測定には、LPS 検出の際に電気化学マーカーとして用いる p-アミノフェノール(以下、PAP)の 20μM 溶液、およびバックグラウンド溶液としてリン酸緩衝生理食塩水(以下、PBS)を用いた。測定結果を図 11 に示す。PBS については出力に大きな変化が見られなかったが、PAP については 0.8V 付近で PAP の酸化反応に基づく電流ピークが確認でき、測定が行えることを確認した。次に、同様の方法で検出部の深さ 20μm の流路の評価を行った。この結果を図 12 に示す。今回は、PAP、および PBS 溶液における電気化学出力に大きな違いがみられなかった。これは、流路が浅いために電極間の薄層流路内の電気抵抗が高く、電気化学測定ができなかったためと考えられる。

以上の結果より、マイクロ流路を用いて電気化学測定を行う際には流路深さが重要であり、検出部の幅が 1.2mm の場合、流路の深さは 40μm 程度とすることで測定可能であることが分かった。

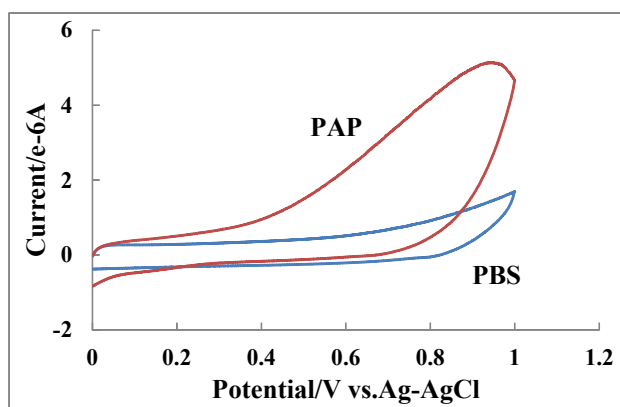



図11　検出部深さ40μm時の電気化学測定結果

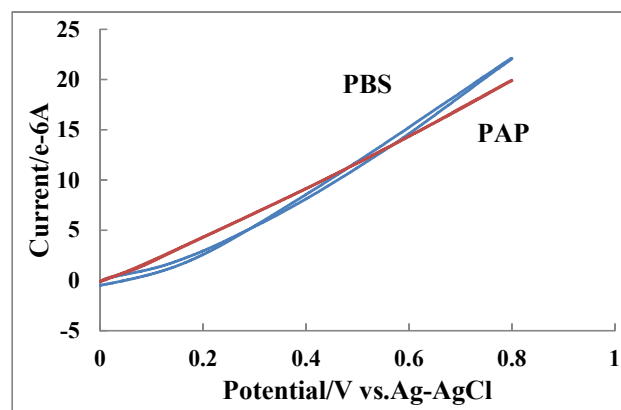



図12　検出部深さ20μm時の電気化学測定結果

３．結言

LPS を捕捉する φ100μm 程度の微粒子の埋め込み、および堆積が可能なせき止め構造の付いたマイクロ流路、ならびに電気化学セルの開発を行った。その結果、流路を微粒子導入部の深さ 150μm、および検出部の深さ 40μm の段差付形状とすることで、φ100μm 程度の微粒子を堰き止めることができ、LPS の濃度測定に用いる PAP の測定が可能であることが分かった。

これは、独立行政法人産業技術総合研究所からの委託研究により得られた成果である。

ネットワークオンチップ構成における高位合成に関する研究

Research for high level synthesis of network on chip structure

技術開発部生産・加工科　　吉田英一
公立大学法人会津大学　　齋藤寛　方波見英基　宮囿悟　木村裕彦

割込み機能を実装したネットワークオンチップ(NoC)システムに、μITRON4.0 仕様リアルタイム OS の TOPPERS/JSP カーネルを移植し、3×3NoC プラットフォームを構築した。また、リアルタイム OS のオーバーヘッドを調べるため、PID 制御プログラムを NoC プラットフォームで動作させて、タスク処理時間やメモリ消費量の実測を行った。これらの実測により、高位合成ツールが利用するタスクの概算処理時間や概算メモリ消費量を得ることができた。

Key　words: NoC、リアルタイム OS、プラットフォーム、高位合成

１．緒言

マイコンを搭載した車載コンピュータ(ECU)は現行の自動車一台当たり数十個使用されているが、ハイブリッド車や電気自動車などの次世代自動車では ECU 数がさらに増加しており、ソフトウェアやハードウェアの実装方法が課題となっている。これらの問題の有力な解決策として図 1 に示すようなネットワークオンチップ(NoC)プラットフォームの活用を提案する。

集積回路の微細化による性能向上の限界を打ち破る技術の一つとして、コア間の通信を共通バス方式ではなく、簡易ネットワークによるパケット転送で実現する NoC 方式[1)]が研究されている。本研究では多数のコアが適応的に協調動作して異種多様なタスクを効率よく実行できる NoC システムを活用したプラットフォームを構築し、車載制御系システムにおいて実証することを目指す。

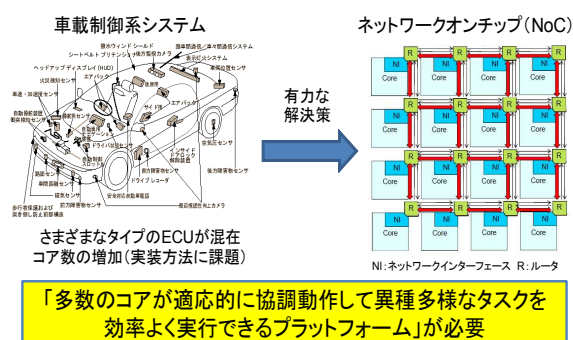



図１　NoCプラットフォームの活用

NoC ハードウェア上に、ソフトウェアを動作させる基盤となるリアルタイム OS などの基本ソフトウェアを搭載した NoC プラットフォームを構築し、高位合成ツールによりタスク分割したアプリケーションプログラムをプラットフォーム上で動作させて、NoC システムや高位合成ツールの開発・評価を行う。

会津大学グループは、プラットフォーム上で動作するアプリケーションの配置やスケジューリングを行う高位合成技術の開発と評価用 NoC プラットフォームの実装を担当し、ハイテクプラザは NoC システムへのリアルタイム OS 移植とアプリケーションプログラムの実装を担当した。

２．NoCプラットフォームの構築

２．１．NoCシステムの割込み機能の実装

NoC におけるプロセッサノード間のデータのやり取りは、送信データを決められた単位に分割したパケットを送ることで行われる。パケットはネットワークインタフェースブリッジ回路を介してルータに送信され、各プロセッサノードに配信される。

昨年度 FPGA 上に実装した 2×2NoC システムのネットワークインタフェースブリッジ回路には割込み機能が実装されていなかったため、ノード間のデータ送受信はポーリングにより実装していた。今年度はネットワークインタフェースブリッジ回路を改造し、ノード間通信時の割込み機能を実装した。また、簡易なアプリケーションプログラムを動作させて、割込み機能が正しく動作することを確認した。

ネットワークインタフェースブリッジ回路を含むプロセッサノードの構成を図 2 に示す。

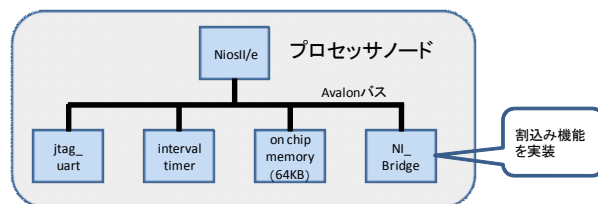



図2　プロセッサノード内に実装した割込み機能

プロセッサノードは、NiosII プロセッサとシリアル入出力回路、インターバルタイマ、オンチップメモリ、ネットワークインタフェースブリッジ回路が avalon バスで接続された構成になっている。例えば、図 3 に示す 3×3NoC システムではプロセッサノードを 9 個持つ構造となっている。

NoC システムの動作確認には、アルテラ社の CycloneIII FPGA 開発キットを使用した。本ボードは CycloneIII(EP3C120F780)デバイスとエンベデッドメモリを 486kB 搭載している。2×2NoC システムの構築時にはアプリケーションプログラムのメモリ使用量を考慮して、オンチップメモリを 64kB~128kB に設定して構築した。

２．２．リアルタイムOSのオーバーヘッド調査

開発する高位合成ツールは、タスクの概算実行時間やノード間通信時間、概算メモリ消費量を考慮して、ハードウェアや処理時間等の制約を満足しつつアプリケーション全体の概算実行時間やメモリ消費量を最小化するタスク分割処理を行う。そのため、NoC プラットフォーム上でアプリケーションを動作させた場合のタスク概算実行時間や概算メモリ消費量などのリアルタイム OS のオーバーヘッドをあらかじめ知っておく必要がある。そこで、2×2NoC プラットフォームで PID 制御プログラムを動作させたときのタスク実行時間やメモリ消費量を実測した。

その結果、リアルタイム OS の TOPPERS/JSP カーネルを動作させたときのメモリ消費量は約 7.2kB で、タスク 1 個増加すると約 1.2kB 増加することが分かった。また、タスクの実行時間は処理内容の違いによる差があるものの、およそ 10ms~30ms で実行していることが分かった。これらの実測により、高位合成ツールが利用するタスク概算メモリ消費量や概算実行時間を得ることができた。

２．３．3×3NoCシステムの構築

ノード間を接続する相互接続網として、メッシュ、トーラス、Fat Tree などのネットワークトポロジ[2)]が使われており、NoC でも利用されている。昨年度会津大学との共同研究により構築した 2×2NoC システムのネットワークトポロジは、2 次元メッシュを採用している。2 次元メッシュは、配置が容易であることやパケットルーティングが単純であるなどの理由から NoC において広く利用されている。また、規則的な配列をしていることから、ノード数の増加による拡張が容易である。

今年度は 2×2NoC システムを拡張して 3×3NoC システムを構築した。使用した FPGA のメモリ制約から、各ノードのオンチップメモリを 32kB として構築した。構築したシステムを図 3 に示す。

リアルタイム OS の移植や、ノード間通信を行う小規模なアプリケーションプログラムを開発し、3×3NoC システムにおいて、OS が正しく動作していることと、通信が行われていることを確認した。ソフトウェアの開発はアルテラの統合開発環境 NiosII IDE を利用した。

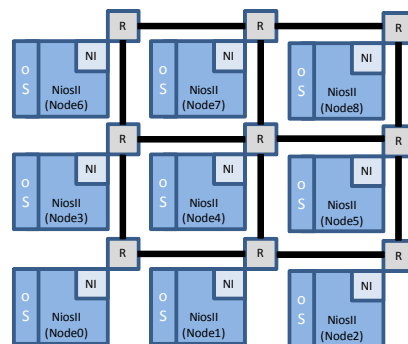



図3　3×3NoCシステム

３．結言

本年度はネットワークインタフェースブリッジ回路に割込み機能を実装した NoC システムにリアルタイム OS を移植し、高位合成ツールを評価するための NoC プラットフォームを構築した。2×2NoC システムを拡張して、3×3NoC システムの構築も行った。また、NoC プラットフォーム上で PID 制御プログラムを動作させ、処理時間やメモリ消費量の実測を行うことで、高位合成ツールが利用するタスクの概算処理時間や概算メモリ消費量が得られた。

今後は、高位合成ツールによりタスク分割された車載制御系システムのアプリケーションプログラムを NoC プラットフォーム上で動作させて、検証を行っていく。

本研究は(独)科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業に採択された「ディペンダブルネットワークオンチッププラットフォームの構築」(研究代表：国立情報学研究所)における会津大学グループの研究課題の 1 つとして、会津大学とハイテクプラザの共同研究により実施した。

参考文献

1)松本敦ほか：“ 非同期式ネットワークオンチップの回路レベル検証技術の構築 ”、情報科学技術フォーラム講演論文集、8(1)、pp.519-520、2009
2)松谷：“Network-on-Chip 最前線 ～研究の始め方から最新動向まで～ ”
http://casfukuoka.is.env.kitakyu-u.ac.jp/files/matsutani_kyushu2008.pdf

座標測定機のトレーサビリティー維持に関する研究

Study on Maintenance of the Traceability of the Coordinate Measuring Machine

技術開発部生産・加工科　　吉田智　斎藤俊郎
独立行政法人産業技術総合研究所幾何標準研究室

三次元座標測定機の精度維持･トレーサビリティー維持への検査手法の確立と測定の信頼性向上のために、(独)産業技術総合研究所の支援を受けて、三次元座標測定機の簡易検査を実施しました。その結果、簡易検査用ゲージでは、3 軸の検査を短時間で実施でき、測定データの誤差に大きな変化がないことを確認しました。

Keywords:三次元座標測定機、簡易検査用ゲージ、マシンチェックゲージ、ステップゲージ

１．緒言

東日本復興支援事業は、(独)産業技術総合研究所幾何標準研究室(以下、産総研と表記)による震災後の東北 6 県ならびに北関東 3 県の公設試験研究機関(県が設置の試験研究機関)と地元企業の復興・復旧支援を目的とした事業で､平成23 年度から 3 年間を予定している。

産総研では、計測に関する様々な研究や事業を実施しており、平成 20~21 年度では広域関東圏を対象とした三次元測定の信頼性向上を図る事業を行っている。東日本復興支援事業は、これらの実績・技術をもとに産総研が、公設試験研究機関への支援を通じて県内企業の復興・復旧を支援するもので、寸法形状測定に広く使用されている三次元座標測定機を対象としている。支援内容は、セミナー等への参加支援、簡易検査用ゲージの提供、精度検査の技術指導などで、三次元座標測定機の精度維持のための検査手法確立や測定の信頼性向上を目指す。

昨年度は、産総研開催の三次元座標測定に関するセミナー等への参加支援および寸法標準ゲージ提供と技術指導を受けて、ハイテクプラザ所有の三次元座標測定機について JIS B 7440-2 に準拠した精度確認検査を実施した。その結果、寸法測定および測定機軸間の直交度についてメーカー規定の精度が確保されていることを確認した。

今年度は、引き続きセミナー等への参加支援を受けるとともに、産総研からの検査用ゲージ提供と技術指導を受けて､簡易検査用ゲージによる測定機 3 軸(X･Y･Z 軸)の検査およびステップゲージによる測定機 Z 軸のローリング(Z 軸回りの回転)に関する検査の 2 つの簡易検査を実施した。

２．実施内容

三次元座標測定機では、測定精度・トレーサビリティの確保・維持などのために、主に製造メーカーなどに依頼して定期検査を行う。定期検査から次の定期検査まではある期間を経ることになるため、定期検査と定期検査の間での測定機の精度維持・確認のために、簡便な試験である中間検査を行うのが望ましいとされている。

そこで今年度は、簡便で短時間に検査が可能な簡易検査用ゲージを用いて測定機 3 軸(X･Y･Z 軸)の簡易検査を実施し、その検査方法や検査結果の測定データ(最大誤差)について確認した。

また、もう 1 つの検査として、ステップゲージによる測定機 Z 軸のローリングに関する簡易検査を実施した。三次元座標測定機では、測定物の形状・測定箇所に応じて、プローブシステム設置軸(Z 軸)と直交する方向にスタイラスを突き出して測定する場合がある。このようなスタイラス設定では、突き出し長さが長いと測定データが Z 軸のローリングの影響を受ける可能性がある。定期検査では、通常安定した測定ができるスタイラス設定で実施されるために、Z 軸直交方向へ長く突き出した設定で検査されることはほとんどない。そこでスタイラスを Z 軸直交方向にあえて長く突き出した設定で測定し、測定機 Z 軸のローリングに関する誤差を調べる簡易検査を実施した。また、比較として通常のスタイラス設定での測定も実施した。

２．１．測定装置

測定に使用した装置は､ZEISS 社製 CNC 三次元座標測定機 UPMC550CARAT(図 1)で、基本仕様は表 1 のとおりである。

図１　CNC 三次元座標測定機

表１　CNC 三次元座標測定機の基本仕様

項目	仕様
測定精度(μm)	U1=(0.5+L/900) U3=(0.8+L/600) (L=測定長さ mm)
測定範囲(mm)	X550×Y500×Z450

測定環境

福島県ハイテクプラザ精密測定室１

(室温 20±1℃、湿度 55±10%※)　※公称値。

同装置は平成４年に導入されたのち、平成 16 年にプローブヘッドと制御装置、データ解析システムの交換を行っている。

２．２．簡易検査用ゲージによる簡易検査

２．２．１．簡易検査用ゲージ

簡易検査で使用した簡易検査用ゲージ(図2)は、レニショー社製のマシンチェックゲージである。

図２　検査用ゲージ

このゲージは、先端に直径4mmのルビー球が付いた支柱と先端に超硬球と2本のロッドの付いたアームから構成されており、アーム先端超硬球の位置を測定することでアームの長さを測定する。アームは支柱先端ルビー球を中心に、水平360°、垂直±45°の範囲で回転可能であり、測定では複数の位置でアーム長さを測定する。これらの測定値からアーム長さ平均半径を算出し、各位置でのアーム長さ平均半径からの偏差を求め、測定機3軸(X･Y･Z軸)の精度を検査する。アームは全長240mm、アーム先端超硬球とアーム回転中心の距離が約151mmのものを使用した。

測定用スタイラスはゲージ付属のφ3mm×11.5mmを使用し、アダプターを介して40mmのエクステンション(アルミニウム製)に取り付けZ軸方向に設定した。

また、このゲージはレニショー社製プローブシステムの使用を推奨しているが、当所の三次元座標測定機(ZEISS社製)プローブシステムはレニショー社製と測定圧が異なるため、測定中にアームが落下してしまう現象が生じた。そのため落下を防ぐために重り(ステンレス製:46g)を作成し、アーム回転中心上部に付加(図3)して測定した。

図３　重りを付加したアーム

２．２．２．測定方法

測定は、ゲージ付属のユーザーズガイドに従い実施している。ゲージは、アーム長さを測定する際の測定領域が三次元座標測定機の測定空間のほぼ中央になるように設置(図4)し、支柱下部のベースを測定機テーブルにクランプして固定した。

図４　簡易検査用ゲージの設置

測定座標系は、球測定により支柱先端ルビー球中心位置を測定し、これを原点として設定した。X軸・Y軸・Z軸の方向は測定機の機械座標系と同一にした。

原点設定の後、アームを支柱に取り付け、アーム取り付けによる温度変化の影響を避けるため10分間放置した後にアーム長さ測定を行った。

図5にアーム長さ測定位置を示す。測定は、アーム角度がXY面に対して0°、+45°、-45°となる3つの水平面で行い、各水平面内において45°間隔で8点の測定点とし、計24点の測定点としている。測定は0°(8点)、+45°(8点)、-45°(8点)の順で行い、これを3回繰り返し(測定データ：72点)、その後アームを支柱から取り外し、支柱先端ルビー球位置を測定して回転中心支点のドリフトを確認した。測定は、原点設定から回転中心点のドリフト確認までのCNCプログラムを作成して自動測定を行った。

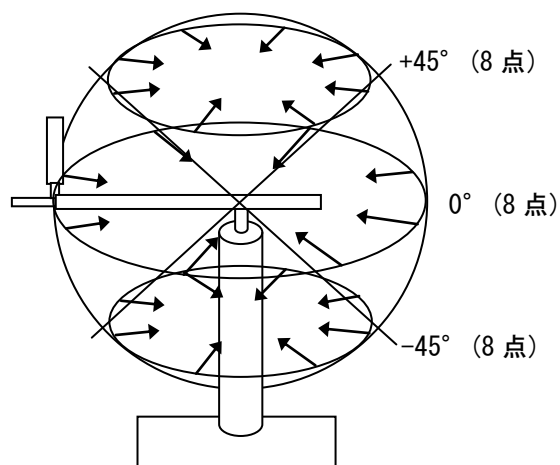



図５　アーム長さ測定位置

データ処理は、測定データ72点からアーム長さの平均半径を算出し、平均半径と各測定位置アーム長さの

偏差を求めた。測定点72点を1セットとし、1セットでの最大偏差の3セット平均値を測定値(最大誤差)とし、1日当たり1つの測定値を取得した。なお、アームは低熱膨張材料を用いて作られているので、測定時の温度補正(アーム長さ測定値の20℃での値への換算)は行っていない。

また、測定中の温度環境測定として、測定機のテーブル上面から高さ20mmの所に温度センサを取り付け、0.5分間隔で温度測定を行った(使用した温湿度データ収録装置：神栄(株)製TRH-DM3L)。

２．３．ステップゲージによる簡易検査

２．３．１．ステップゲージ

簡易検査で使用したステップゲージ(図6)は、ミツトヨ製チェックマスタである。

図６　ステップゲージ

ステップゲージは、基準となる基準ブロック(図5のゲージ左端)と複数の測定ブロックが直線状・櫛刃状に配置されており、基準ブロックと測定ブロック間の長さを測定することにより、複数の検査用長さを参照することができる。使用したゲージは全長632.5mm、測定ブロック間のピッチは20mmである。

２．３．２．測定方法

測定は、産総研提供の手順書等に従い実施している。

図7に、ゲージの設置を示す。測定方向はYZ面とし、産総研提供の傾斜台を利用して、XY平面に対して約40度傾斜させてあり、傾斜台は測定機テーブルにクランプして固定した。

図７　ステップゲージの設置

スタイラスを長く突き出した測定では、スタイラスはφ5mm×50mmを使用し、Z(-)方向に60mmのエクステンション(アルミニウム製)を取り付け、さらにX(+)方向に150mmエクステンション(アルミニウム製)を使用して、突き出し長さを210mmとした。図8に、スタイラス設定を示す。また同様にX(-)方向に210mmの突出し長さとし、スタイラス設定を2タイプ(突き出しX(+)方向、突き出しX(-)方向)とした。

通常使用されるスタイラス設定(図9)での測定では、同じくφ5mm×50mmのスタイラスを使用し、ナックルジョイントを用いてY+方向に40度傾斜させて取り付けた。

図８　長く突き出した設定

図９　通常設定

測定寸法は、ステップゲージの基準ブロック(0mm)を基準面として10mm、110mm、210mm、310mm、410mmの5種類とした。

測定座標系は、基準面(0mm)5点でアライメント(空間補正)を行い基準面とし、基準面と測定ブロック中央点の距離を測定した。測定ではCNCによる自動測定を3回繰り返し行ない、その平均値を測定値とした。

また、測定時は測定機付属の温度センサーをステップゲージ本体に取り付け、線膨張率は 11.5×10^{-6}(1/K)として温度補正を行った。

３．測定結果

３．１．簡易検査用ゲージによる簡易検査

図10に、測定状況を示す。測定データは、ゲージ付属の解析ソフトによりデータ処理を行った。

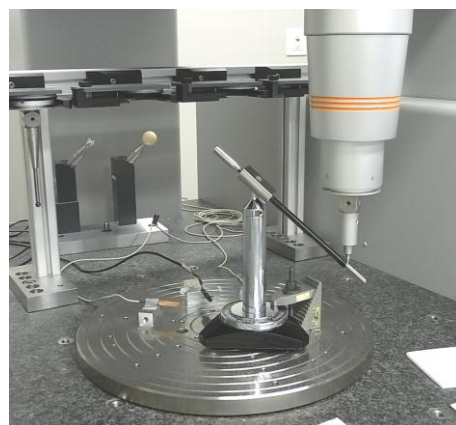



図 10　簡易検査用ゲージでの測定

図11に測定結果を示す。横軸は測定値No.で、測定日順に1~6と記載した。(1~4はH24.9月、5はH25.2月、6はH25.3月に測定)、縦軸は最大誤差を表している。

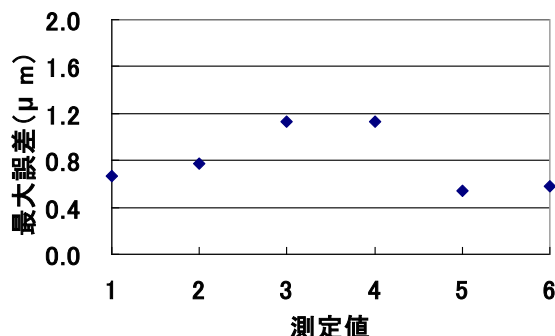



図 11　簡易検査用ゲージによる測定結果

測定日6日での最大誤差は、0.5~1.1μmと1μm以下程度の値を示しており、6日間の測定での最大誤差は、簡易検査用ゲージと三次元座標測定機のそれぞれのメーカー規定許容誤差を加算した1.55μmを上回るような大きな変化は見られなかった。また、測定時間は、1セットの測定で約30分程度(アーム取り付け後の10分間放置を含む)であり、測定機3軸(X･Y･Z軸)の簡易検査として短時間に実施できることが確認された。

なお、測定日6日の測定中の測定機テーブル上面での温度は20.7~20.1度、1セット測定中の温度変化は0.1~0.2度であり、測定中は安定した温度環境であった。

３．２．ステップゲージによる簡易検査

図12、図13に測定状況を示す。測定結果は、突き出しX(+)方向での誤差(寸法測定値とゲージ校正値の差)をD(+)、突き出し長さをL(+)、突き出しX(-)方向での誤差をD(-)、突き出し長さをL(-)とし、Z軸ローリング概算値(突き出し長さ1,000mm当たりの値)として下式にて算出した。

Z軸ローリング概算値

$$=(D(+)-D(-))/(L(+)+L(-)) \quad (\mu m/m)$$

図 12 長く突き出した測定

図 13 通常設定の測定

図14に測定結果を示す。誤差は、Z軸ローリング概算値を突き出し長さ200mmに換算した値で示した。また併せて三次元座標測定機メーカー規定許容値(寸法測定：U3)と通常スタイラス設定での測定結果を示した。

突き出し長さ200mm換算の誤差はメーカー規定許容値の約1/10以下と小さい値となっており、また通常のスタイラス設定での誤差と比較しても大きな差は見られないことが確認できた。

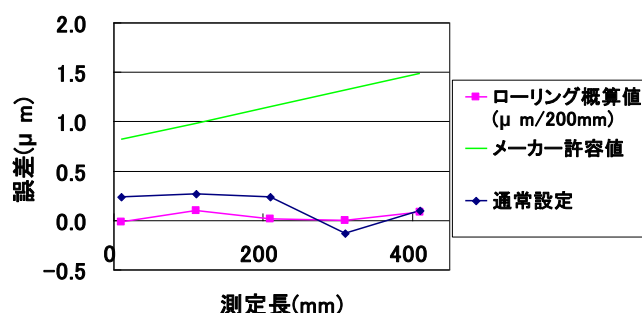



図 14　ステップゲージによる測定結果

４．結言

以上、産総研からの検査用ゲージ提供と技術指導を受けて、簡易検査用ゲージとステップゲージによる2つの簡易検査を実施した。簡易検査用ゲージによる検査では、アームに落下防止用の重りを付加しての測定ではあったが、最大誤差は測定日6日間で大きな変化がないことおよび測定機X･Y･Z軸3軸の検査を短時間で実施できることが確認できた。ステップゲージによる検査では、誤差はメーカー規定の許容誤差と比較して小さいことが確認でき、Z軸と直交方向にスタイラスを突き出して測定する場合でも、Z軸ローリングに関する誤差は支障とならない程度の大きさであることが確認できた。今回の2つの簡易検査により得られた検査方法や検査結果についての知見を、今後の測定業務や企業支援に役立てていく。

農地の放射性物質除染方法の開発･生物的手法からの取り組み

Development of the radioactive sabstance decontamination method of farmland
The examination from the biological technique

技術開発部プロジェクト研究科　　鈴木英二

農地などの土壌から放射性物質を取り除くために、生物的手法を用いた除染の取り組みを試みた。微生物を用いた試験を行い土壌からの放射性物質の除染および濃縮方法を検討し、可能性試験を行った。土壌等から放射性セシウムを吸収する微生物を分離し、放射性セシウムが含まれる水溶液を用いて試験を行ったところ、若干の放射性セシウム吸収が認められる微生物 8 株を分離した。これらの菌株の中には、湿菌体で 6.7Bq/g の放射性セシウムを吸収する菌株があった。またこの菌体を乾燥処理することにより、62Bq/g の濃縮乾燥菌体が得られ、微生物による濃縮･減容化の可能性が見い出された。

Key words : 放射性セシウム、放射性物質減容化

１．緒言

福島原発事故以来、県内にはかなりの放射性物質が飛散しており、これらを農産物の生産基盤である農地や、県内の生活環境から取り除くことが求められている。農地等の土壌剥ぎ取り除染の進行とともに、放射性廃棄物は多量排出され、それに伴い減容化を図らなければならない。県内の農地土壌には、特に放射性セシウムが残存しており、これらを濃縮、分離する手法を見い出すために試験を行った。ここでは生物的手法からの取り組みを検討し、微生物を用いた放射性セシウム吸収による除染および減容化を試み、可能性試験を行った。

２．試験方法

２．１．放射性セシウムを吸収する土壌微生物の分離

土壌等から放射性セシウム(Cs)を吸収する微生物の分離を行った。汚染土壌(放射性セシウム 13,700Bq/kg)、側溝土壌(16,200Bq/kg)、ツバメ糞(18,200Bq/kg)から採取した試料を滅菌水にて希釈し分離元とした。培地は、砂利から調製した放射性 Cs 水溶液培地(放射性 Cs　124Bq/kg)、汚染された枯松葉およびコケをオートクレーブ滅菌後濾過した松葉培地(89Bq/kg)、コケ培地(102Bq/kg)を用いた。この寒天培地上に希釈した菌群を塗布し 30 ℃、10 日間培養を行った。その後生育したコロニーに、検出器窓を 5mm 径に改良した GM 測定器にてそれぞれのコロニーに検出器をあて、測定値が高く示したコロニーのみを分離した。

２．２．分離菌の放射性セシウム吸収試験

分離した菌において放射性 Cs 吸収試験を行った。汚染された砂利(放射性セシウム 2,400~1,300Bq/kg) 1kg に蒸留水 1L を加え 0.8%NaCl を添加しオートクレーブ滅菌後、東洋濾紙製 No.1 濾紙にて濾過し、このろ液に 5%Glucose を基質として添加し培地を調製した。また 8,000rpm、10 分の遠心分離にて微細な土壌粒子の沈殿がないことを確認した。この培地の放射性 Cs 値は 171Bq/kg であった。この培地 300mL にそれぞれの分離菌 1 白金耳を接種し、30 ℃、5 日間の振とう培養を行った。培養後 8,000rpm、10 分の遠心分離を行い菌体を取り除き、その上澄液をゲルマニウム(Ge)半導体検出装置による放射性 Cs の測定を行った。また同様の方法でコケから調製した培地を用いて試験を行った。この培地の放射性 Cs 値は 1,032Bq/kg であった。この培地を用いて同様の条件にて吸収試験を行った。

２．３．分離菌を用いた土壌からの放射性セシウム吸収試験

分離･選択した菌 8 菌株を用いて土壌直接からの放射性セシウム吸収試験を行った。培地は放射性 Cs 12,950Bq/kg の土壌 50g を用い、蒸留水 200mL と 5%Glucose を基質として添加し、滅菌したものを用いた。分離菌 8 菌株の菌体 1g を接種し、30 ℃、7 日間の静置培養を行った。また Blank の菌無添加試験区も同時に試験した。この菌が混濁した上澄培養液の放射性 Cs 測定を行い、菌による放射性 Cs の土壌から菌への移行を評価した。

２．４．分離菌菌体を用いた放射性セシウム吸収試験

分離菌の放射性 Cs 吸収能を確認するために、分離菌の菌体を用いた放射性 Cs 吸収試験を行った。培地は前述した砂利から調製した透明な放射性 Cs 水溶液に 5%Glucose を基質として添加したものを用いた。この培地の放射性 Cs 値は 229Bq/kg であった。分離菌 8 菌株はそれぞれ Pepton,Yeast extract 培地にて振とう培養し、遠心分離し集菌した菌体 1g をこの放射性 Cs 水溶液培地 800ml に接種し、30 ℃、5 日間の振とう培養を行った。培養後 8000rpm、10 分の遠心分離を行い菌体を集菌し、この菌体と遠心分離後の上澄液を Ge 半導体検出装置による放射性 Cs の測定を行った。

また集菌した菌体を 105 ℃、2 時間加熱乾燥させ乾燥菌体を得た。この乾燥菌体も同様に放射性Csの測定を行った。

３．試験結果と考察

３．１．放射性セシウムを吸収する土壌微生物の分離、

培地上には、分離元の土壌では 10^4~10^5/g、側溝土壌では 10^3~10^5/g、ツバメ糞では 10^2~10^3/g の菌が生育してきた。また GM 測定器の測定値から、放射性 Cs を吸収すると推測される微生物を分離した。分離元として土壌から 5 菌株、側溝土壌から 7 菌株、ツバメ糞から 9 菌株の計 21 菌株を分離した。

３．２．分離菌の放射性セシウム吸収試験

分離菌 21 菌株において、砂利から調製した放射性 Cs 水溶液およびコケから調製した放射性 Cs 水溶液を培地とした放射性 Cs 吸収試験を行った。砂利調製培地およびコケ調製培地の放射性 Cs 値はそれぞれ、171Bq/kg、1,032Bq/kg である。その測定結果を図 1、2 に示した。それぞれの培地にて放射性 Cs を約 30%吸収する菌株がみられた。

この吸収試験において吸収率が全般的に低い値となった。この原因として、調製した砂利･コケから調製した放射性 Cs 水溶液において放射性 Cs の溶解状態が原因と推測された。一般的に水溶液中の放射性 Cs は水に溶け出したイオン状態の溶存態と、有機物や無機物に付着した付着態が存在する [1]といわれている。また微生物は放射性 Cs の一部をカリウムの輸送システムを経由して菌体内に取り込む [2]とされている。このため取り込みができる放射性 Cs の状態がイオン状態の溶存態がおもで、有機物や無機物に付着した付着態は取り込みが困難である。調製した放射性 Cs 水溶液培地中には、放射性 Cs の溶存態が少なくかつ有機･無機物付着態が多く存在しているためと推測された。

この吸収試験の結果より、いずれかの吸収試験において放射性 Cs 吸収率が 20%以上の分離菌をスクリーニングし、21 菌株から 8 菌株を選択した。分離元が汚染土壌由来である S-2、側溝土壌由来の E-3、E-6、ツバメ糞由来の H-4、H-5、H-7、H-8、H-9 を選択した。これら分離菌 8 菌株においては 16S rDNA および D2 LSU rDNA 領域の DNA シーケンスによる同定を行っている。

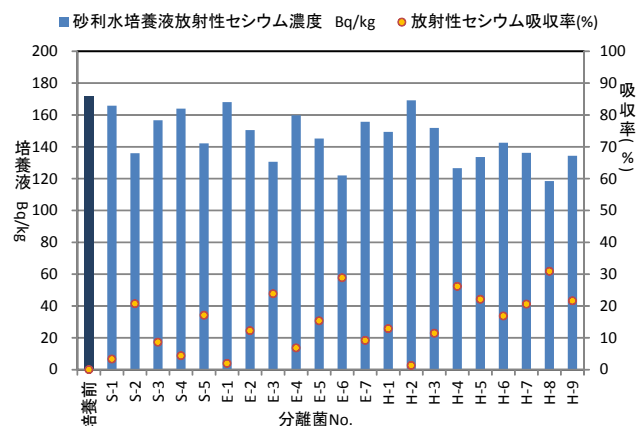



図 1　砂利調製放射性セシウム水溶液を培地とした放射性セシウム吸収試験結果

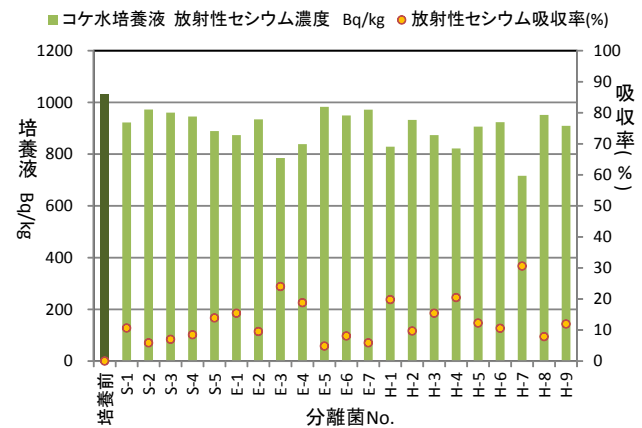



図 2　コケ調製放射性セシウム水溶液を培地とした放射性セシウム吸収試験結果

３．３．分離菌を用いた土壌からの放射性セシウム吸収試験

分離菌 8 菌株を用いた、土壌からの放射性 Cs 吸収試験を行った結果、土壌から菌による培養液への放射性 Cs の移行は確認できなかった。この結果より、微

生物を用いた土壌からの放射性 Cs 除去は、土壌からの直接的な放射性 Cs のかい離は難しく、新たなかい離方法の検討が必要と思われた。

３．４．分離菌菌体を用いた放射性セシウム吸収試験

分離菌の放射性セシウム吸収能を確認するために、分離菌菌体を用いた放射性 Cs 吸収試験を行った。使用した培地の放射性 Cs 値は 229Bq/kg である。菌体を遠心分離し取り除いた培養液中の放射性 Cs 測定結果を図 3 に示した。分離菌における放射性 Cs 吸収率は 3.7~13.4%に留まった。この調製した放射性 Cs 培地には、微生物が吸収できる Cs イオン状態の溶存態が少なく、有機物や無機物との付着態および放射性粒子が多く存在しているためと考えられた。

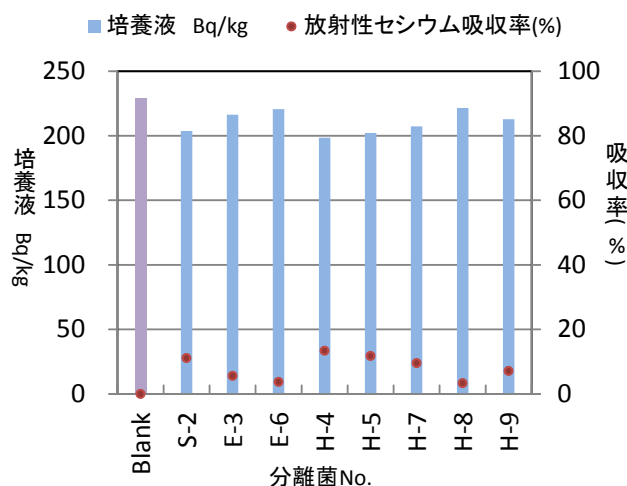



図 3　分離菌菌体を用いた放射性セシウム吸収試験
上澄液放射性セシウム測定結果

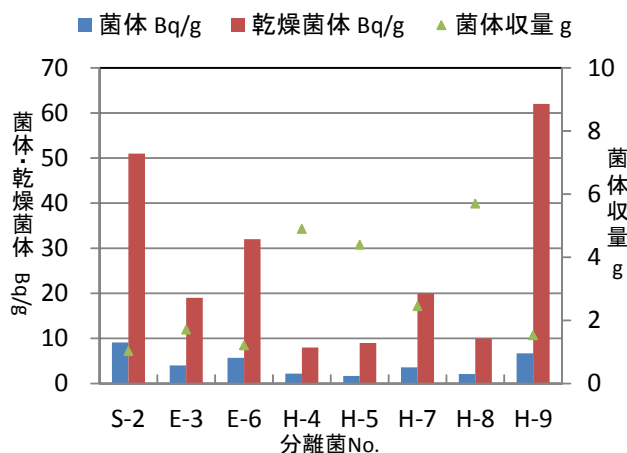



図 4　分離菌菌体を用いた放射性セシウム吸収試験
菌体および乾燥菌体の放射性セシウム測定結果

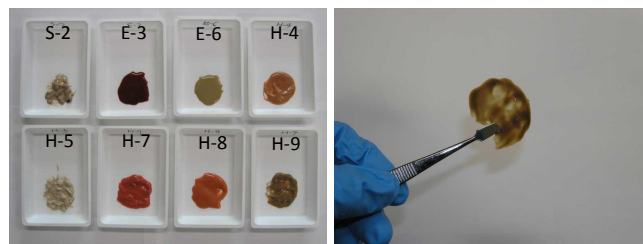



図 5 (左)分離菌菌体を用いた放射性セシウム吸収試験
放射性セシウムを吸収した菌体・分離菌 8 菌株
(右)放射性セシウムを吸収した菌株H-9 の乾燥菌体
(62 Bq/g)

分離菌菌体を用いた放射性 Cs 吸収試験で得られた菌体および乾燥菌体の放射性 Cs 測定結果を図 4 に示した。放射性 Cs を吸収した菌体は 1.7~9.1Bq/g の放射性 Cs を含有していた。

この吸収試験で集菌した分離菌 8 菌株の放射性 Cs 吸収菌体の写真、および放射性 Cs を吸収した菌株 H-9 の乾燥菌体写真を図-5 に示した。菌株 H-9 の菌体を加熱乾燥により 62Bq/g の放射性 Cs を含む乾燥菌体に濃縮することができた。

４．結言

農業用地など土壌からの放射性物質除染の検討を行った。除染後の廃液処理等の環境を配慮し、ここでは生物的手法を用い、特に微生物を用いた放射性物質の分離･濃縮を試み、可能性試験を行った。

一般的に放射性 Cs 水溶液中では放射性 Cs は水に溶け出したイオン状態の溶存態と、有機･無機物に付着した付着態および放射性粒子が存在するといわれ、[1)3)]この溶存態は付着態および放射性粒子と比べると含有量が少ないとされる。

分離･選択した菌 8 菌株を用いて土壌直接からの放射性セシウム吸収試験を行ったが、土壌に直接水を添加しても放射性 Cs の溶存態が溶出せず、放射性 Cs の微生物による吸収は困難であった。微生物を用いた土壌からの放射性 Cs 除去は微生物が土壌粒子に強固に付着した放射性 Cs を直接的に吸収することは難しく、新たなかい離方法の検討が必要と思われた。

今回行った放射性 Cs 水溶液を用いた分離菌による吸収試験において、吸収率がやや低い値となったが、この要因として砂利から調製した透明な放射性 Cs 水溶液中の放射性 Cs の溶解状態が原因と推測された。微生物において放射性 Cs の一部をカリウムの輸送システムを経由して菌体内に取り込むとされている [2)]が、取り込みができる放射性 Cs の状態がイオン状態の溶存態がおもで、有機･無機物に付着した付着態および放射性粒子は取り込みが困難と推測された。

放射性 Cs を吸収すると思われる微生物を 8 菌株分離した。その中の菌株 H-9 の菌体は、放射性 Cs 水溶液吸収試験において放射性 Cs　6.7Bq/g と若干の吸収が認められ、またこの乾燥菌体は 62Bq/g の放射性 Cs が確認された。放射性 Cs の溶解状態が溶存態であれば、微生物による濃縮が可能であると考えられた。

参考文献

1)保高徹生：“水中の溶存態放射性セシウムの迅速測定”、産業技術総合研究所、産総研 TODAY、pp.24、2013-01

2)Kuwahara C.,Fukumoto A.,Nishina M.,Sugiyama H.,Anzai Y.,Kato F.,: Characteristics of cesium accumulation in the filamentous soil bacterium *Streptomyces sp.*K202、Journal of Environmental Radioactivity, 102(2), 138-144(2011)

3)伊藤純雄ら：“ 土壌や植物表面に存在する放射性粒子の特性と成因”、農研機構・農業環境技術研究所、第 14 回環境放射能研究会・要旨論文集、pp.2

風評被害に伴う漆器の高品質化への改良研究

－原発事故による福島県産品の風評被害への対応－

Conduct research to improve the high quality of Japanese lacquerware to avoid reputational damage

会津若松技術支援センター産業工芸科　　須藤靖典

本研究では、木質系素材を使用した漆器の木地痩せや下地痩せを防ぐ手段として、木固め剤や下地剤の塗装工法を見直すとともに、耐久性試験結果による痩せのメカニズムを解析した。その結果、僅かな改良で痩せを防げることが分かりました。

Key　words:木地、木固め、痩せ

１．緒言

本研究では、木地または下地痩せが生じにくく、耐久性の高い漆器の製造工法を確立するため、木地堅め剤(ストップシーラー)やポリエステルサーフェーサー、ポリエステルサンデングシーラーなどの下地剤を新たに選択し、工法、塗布回数を変えつつ、痩せ防止の検討を行った。試験方法としては、乾燥温度及び乾燥時間による硬化状況の把握と寒熱試験後の上塗り塗膜の光沢値の推移さらには、目視による痩せ評価を行い、極力痩せが生じにくい製造工法を検討した。

２．実験

２．１．試験板の制作とその塗装工法

4 種類(A~D)の異なる塗装工法で試験板を制作し、従来工法で製造された漆器製品と痩せを比較することとした。その際の試験板素材は朴材とベニヤ材を使用し、工程は表 1 のとおり、仕様は表 2 のとおりに制作するとともに評価については寒熱試験を行った後、痩せの発生状況で判断することとした。

表1　工程表

工　法	仕　　様
木固め	A~D 試験板へシーラー剤を刷毛塗り及び浸積させ、35℃．24~48H で乾燥した。
下　地	A~D 試験板へポリエステル系下地へ吹き付け塗装し、35℃．24~48H で乾燥した。
中塗り	ウレタン系塗料を塗装した後、油性系塗料を刷毛塗りする。乾燥温度 35℃．24~48H
上塗り	塗立黒漆を吹き付け塗装と刷毛塗り塗装する。乾燥条件常温 35 ℃．24~48H・加湿(60~70%)

表2　試験板A~Dの仕様

工　法	仕　　　様
A.	木地固め用ストップシーラーにチタンホワイトを添加し、ポリエステル下地を塗装
B.	木地固め用ストップシーラーにカーボンブラックを添加し、ポリエステル下地を塗装
C.	木地固め用ストップシーラーの重ね塗り塗装
D.	木地固め用ストップシーラーを 3 回塗りし、その後裏面にストップシーラー再塗装
	※工法 A~D のいずれにおいても、裏面にストップシーラー塗装した試験片含む。

図1　　試験片工法　A・B

図2　試験片工法　C・D

２．２．工法比較のための試験板仕様

改良工法の工程数は変わらないものの、表 3 のとおり下地塗装では素地の表裏を塗装し、その塗膜の乾燥、硬化時間を従来よりも多めに取り、その後ウレタン塗料、油性塗料、漆を塗ることで寒熱試験用塗装板とした。また、試験板 1~16、29、30 を吹付塗装、17~28 を手塗りとした。

表3　工程比較表

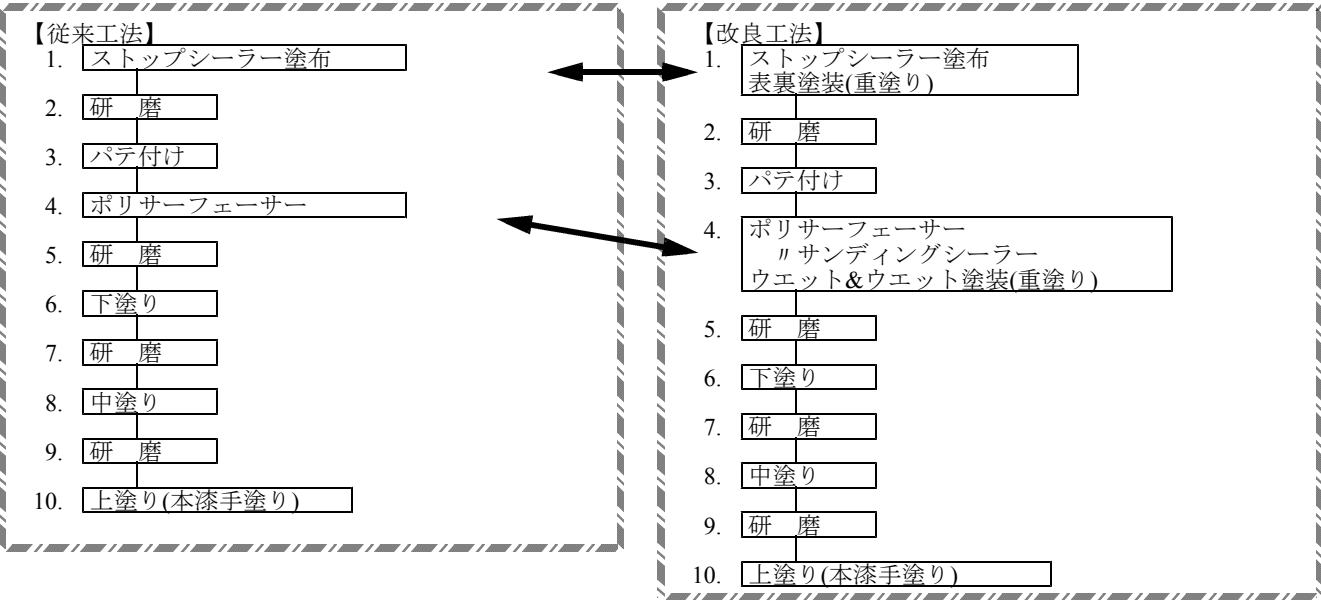



表4　試験版の仕様一覧

	(A/B/C/D)	地の種類		上塗り漆塗装工法	
		ｻｰﾌｪｰｻ	ｻﾝﾃﾞｨﾝｸﾞｼｰﾗｰ	本漆吹付塗装	手塗り
No. 1	D	○		○	
2	D	○		○	
3	D	○		○	
4	B	○		○	
5	C	○		○	
6	D		○	○	
7	B		○	○	
8	D		○	○	
9	B		○	○	
10	D		○	○	
11	D		○	○	
12	A		○	○	
13	D		○	○	
14	D		○	油性	
15	A	○		油性	
16	D		○	○	
17	D		○		○
18	B		○		○
19	C		○		○
20	C		○		○
21	D		○		○
22	D		○		○
23	C	○			○
24	C	○			○
25	D	○			○
26	D	○			○
27	A	○			○
28	B	○			○
29	D	○		油性	
30	D		○	油性	

２．３．サイクル試験条件

4 種類(A~D)の工法で作った試験板を表 5.6 の条件どおり 2 パターン、(株)カトー SE-77C1 サイクル試験機器による、寒熱試験を行いその後ち、光沢計で艶の変化と目視による痩せの有無を観測した。

表5　条件1(6サイクル)

	温　度	湿　度	時間
1	20 ℃	50%	1H
2	40 ℃	90%	1H
3	40 ℃	90%	2H
4	-10 ℃		1H
5	-10 ℃		2H

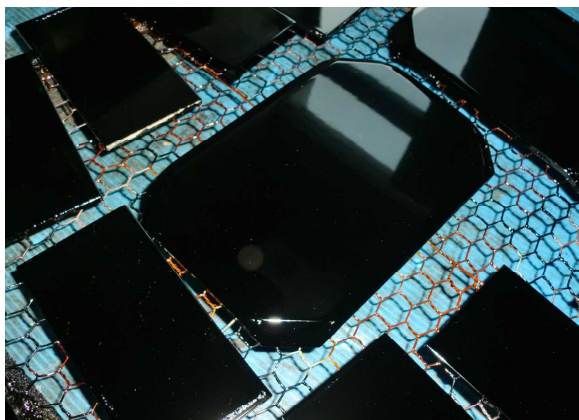
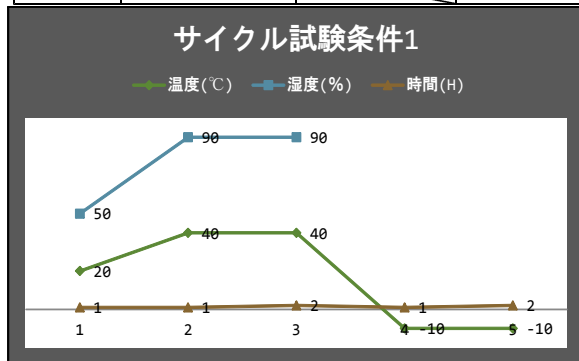



図3　本漆吹付け塗装試験板

表6　条件2(6サイクル)

	温　度	湿　度	時間
1	20 ℃	50%	1H
2	50 ℃	90%	2H
3	-10 ℃		1H
4	-10 ℃		2H
5	20 ℃	50%	1H

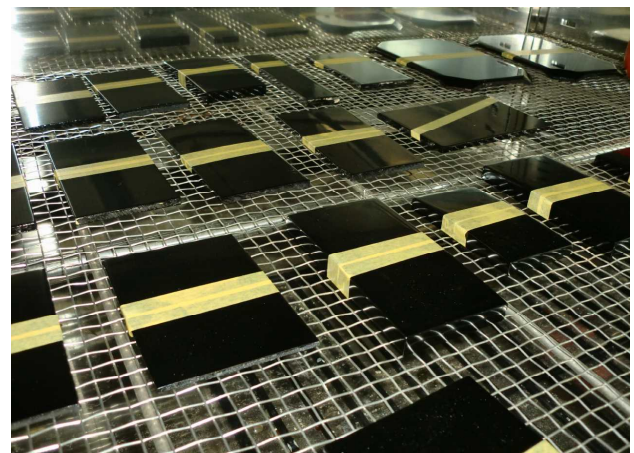
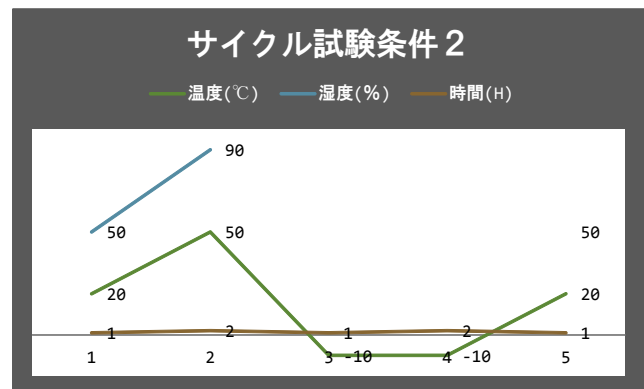



図4　サイクル試験塗装試験板

２．４．光沢値による評価

HORIBA グロスチェッカー IG-310 を使用し光沢値を 3 点測定し、その変化を確認した。

表7　光沢値1 (吹付け塗装)

試験片番号	光沢値(%)		平均値(試験前)	測定1点目	測定2点目	測定3点目
1	94	96	95	95	96	93.5
2	95	96	95.5			
3	97	97	97	97	93.5	92.5
4	94	96	95	95	95	95
5	95	94	94.5	94.5	94	94.5
6	95	97	96	96	95	92
7	97	96	96.5	96.5	93.5	93
8	97	96	96.5	96.5	94.5	94.5
9	97	98	97.5	97.5	95.5	93.5
10	95	98	96.5	96.5	95	96.5
11	96	95	95.5			
12	98	98	98	98	96	96
13	96	96	96			
14	96	94	95	95	94.5	95
15	93	93	93	93	93	95.5
16	96	93	94.5	94.5	96	94

表８　光沢値２（手塗）

17	83	84	83.5	83.5	84	
18	83	85	84	84	83	82.5
19	81	78	79.5	79.5	81	80
20	75	79	77			
21	72	70	71	71	76	75
22	84	83	83.5			
23	78	74	76	76	81	80.5
24	75	81	78			
25	75	75	75	75	67	69.5
26	76	76	76			
27	83	83	83	83	81	83.5
28	83	84	83.5	83.5	83.5	83

表９　光沢値３（吹付け塗装）

29	93	95	94	94	96.5	96
30	96	92	94	94	98	95.5

３．総合評価

３．１．目視による評価

条件 1 の 2 で行った寒熱試験板を光沢計で測定した(表 10)。その結果、手塗・吹付塗装とも研究当初の予想に反し、痩せを数値で確認できなかった。しかし、目視では条件 2 で行った寒熱試験後に痩せが確認された。その痩せは、4 種類(A~D)の工法違いや無垢材・ベニヤ材を問わず確認された。その中で注目すべき点として、どの工法でも木地裏まで木固め剤(シーラー剤)を塗布した試験板は痩せが生じにくく、良好な結果が得られたことから、痩防止の一工法として活用できることが改めて分かった。

表10　光沢推移図

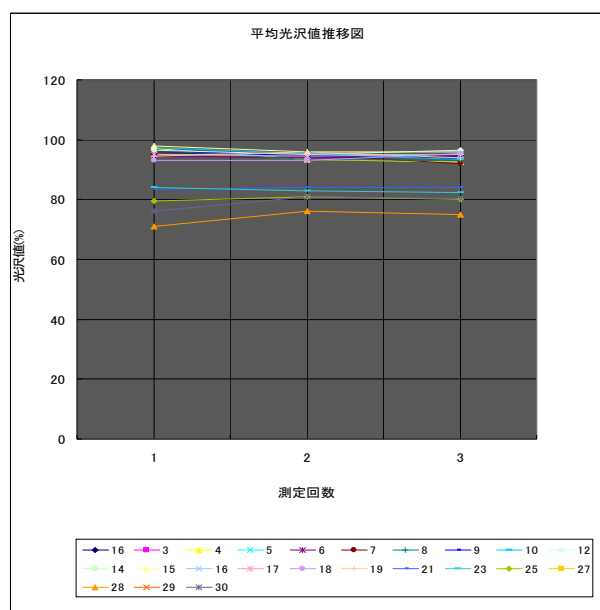



図6　サイクル試験終了後の試験板

３．２．まとめ

本研究では、原発事故の影響から地場産業である漆器製造・販売業が著しく風評被害を受けているため、従来の漆器製造工法を見直して木地・下地痩せやが生じにくく、耐久性の向上とコストの低減を目指した商品とするために 1)塗装工法の再確認、2)下地剤の再選択、3)塗装回数を再検討をした。しかし、寒熱試験の結果から得られた痩せの状況は表 7、8、9 のとおり手塗り、吹付け塗装を問わず大きく光沢が減少した試験板は殆ど見受けらなかったことから、当初の予想とは異なり、木地固めと称される基本的な工程において痩せは防止できることが改めて確認された。

低塩で日持ちの良い塩麹の開発

Production methods of Shio-koji that is salt reduced and kept for a long time

会津若松技術支援センター醸造・食品科　　中島奈津子　大島健司　小野和広
石橋糀屋　　石橋恒男

塩麹は、麹を使用した調味料として注目されているが、日持ちを良くするするため塩分濃度を高くした製品が多いのが現状である。そこで、健康志向者や高血圧者にも喫食してもらえる、塩分濃度の低い塩麹の製造方法について検討した。仕込み方法および配合、食塩の添加時期を変えた塩麹を試作し、官能試験と成分分析、微生物試験により評価した。その結果、微生物の増殖を抑制する一定の指標および官能評価の高い仕込み配合がわかった。また、原料の米麹をエタノール浸漬することで、低塩濃度の塩麹でも製品の菌数が抑制できることがわかった。これらの製法を用いることで、低塩で日持ちが良く、かつ酵素が失活していない生の塩麹の提供が可能になると考えられる。

Key　words:塩麹、低塩、減塩、日持ち、調味料、甘酒

１．緒言

最近、麹を利用した食品がブームとなっており、とりわけ塩麹は商品も多様化している上、調理専門書が出版されるなど話題となっている。塩麹には定義がなく、配合割合も製造者によって異なっている。一般的に塩分濃度が高いものが多く、生活習慣病患者が増加している中にあって、高血圧の方や健康志向者からは敬遠されかねないが、塩分濃度は塩麹の保存性に影響を及ぼすため、単純に低減することは困難である。そこで本研究では、既存の商品に比べて低塩であるにもかかわらず長期保存に耐え、かつ呈味性に優れた塩麹を開発することを目的とした。

２．実験方法

２．１．供試材料

麹は、石橋糀屋にて製造された米麹を使用した。また、食塩は精製塩、仕込み水には水道水を使用した。酒精は市販の果実酒用ホワイトリカーを使用した。

２．２．仕込み方法

仕込み配合は、３．実験結果および考察において試験毎に記した。一般に知られている「熟成型塩麹」は、原料を混和して 20 ℃ 14 日間、4 ℃ 5 日間熟成させた。「糖化型塩麹」は、55 ℃の湯浴中で 6~7 時間糖化させた。食塩は糖化前あるいは糖化後に加えた。

２．３．分析方法

塩麹の塩分は、基準みそ分析法[1)]に準じて分析した。Brix は、塩麹を遠心分離して得た上澄みを糖度計((株)アタゴ)を用いて測定した。水分活性(Aw)は、25 ℃における値を測定した(novasina TH-500)。微生物試験は、食品衛生検査指針に基づいて行った。プロテアーゼ活性は、基準みそ分析法に準じて pH6.0 における活性を測定した。官能評価は、熟成型塩麹と糖化型塩麹の区別を明記し、石橋氏と当所職員の計 13 名(男性 9 名、女性 4 名)のパネルによって、5 項目を 5 段階評価 (-2~2 点) し、平均評点を求めた。

３．実験結果および考察

３．１．市販塩麹の分析

製品目標の設計のため、市販の塩麹を無作為に抽出し、塩分、Brix、水分活性(Aw)、生菌数を測定し、官能評価を行った(結果非公表)。市販品の賞味期間は、未殺菌のもので 30~180 日、加熱殺菌されたもので 180 日程度に設定されていると推定された(製品に記載されている賞味期限および購入日より推定)。食塩濃度の平均は 14%程度であった。塩分濃度、Brix が低く、水分活性が高いものは加熱処理をすることで生菌数を抑えていると考えられた。一方、未殺菌かつ酒精(以下、保存を目的としたエタノールを酒精とした)無添加では Brix が高く水分活性は低いものの菌数が多く、常温流通させるのは困難と推定された。

官能評価の結果、色は白いほど良く、香りは異臭のないもの、味は塩辛さがなく甘味や旨味が強いもの、組成は塩分のざらつきがなく、なめらかなものについて評価が高かった。異臭は、麹の香りが低く、酸臭や納豆様の香りが感じられるものについて指摘された。

菌数と官能評価の結果から、異味異臭を感じるのは、菌数が 10^5CFU/g 程度であることが示唆された。

市販塩麹の分析および官能評価の結果から、本試験では、未殺菌で、塩分濃度 11%以下、一般生菌数が 10^3CFU /g 以下となる製品を目指すこととした。

３．２．熟成型塩麹と糖化型塩麹の官能評価結果

「熟成型塩麹」と、「糖化型塩麹」の 2 種類を製造し、官能評価を実施した。熟成型と糖化型では、糖化型の評価が高かった(結果非公表)。熟成型は粒感が残っており、食感が良くないという意見が挙げられた。これについては、ミキサー等で改善が可能と思われる。Brix は糖化型の方が熟成型よりも高く、強く甘味を感じたようであった。

熟成型の官能評価の結果は、塩分濃度と高い相関があり(味、総合：-0.90)、塩分濃度が高いほど官能評価の結果は低くなっている。特に塩辛さについてのコメントが多く、旨味を感じにくいようであった。糖化型においては、8%、11%いずれの塩濃度においても高い評価が得られた。また、汲み水歩合の違いによる明確な差は認められなかった。

３．３．食塩による糖化阻害の影響の検討

酵素は、食塩の存在下で活性が阻害されることがある。そこで、異なる食塩濃度の「熟成型塩麹」を製造し、糖度を比較した。また、「糖化型塩麹」において、食塩が糖化に及ぼす影響を調べるため、あらかじめ食塩を添加してから糖化させるものと、糖化終了後に食塩を混和する2種類を試作した。さらに、食塩濃度および汲み水歩合の異なる塩麹を試作し、最終的な糖度を調べた。

３．３．１．熟成型塩麹

汲み水歩合は 150%一定(汲み水歩合(%)＝水/麹×100)で、食塩濃度を 6~18%とした。

熟成終了後、塩麹の Brix と食塩濃度を測定した。Brix には食塩濃度も含まれるため、Brix 値から食塩濃度を引いた値(以下 Brix-NaCl 値とする)を算出した。食塩濃度が高くなるほど Brix-NaCl 値が低くなり、食塩濃度 18%では、食塩濃度 6%に比べておよそ80%程度の値となった(結果非表示)。このことから、食塩濃度が高まるほど熟成時の糖化が阻害されることが示唆された。

３．３．２．糖化型塩麹

糖化型塩麹の仕込み配合を表 1 に示す。a~i は 6 時間の糖化終了後に食塩を添加し、j~l は食塩添加後に 6 時間糖化した。糖化は a~l の 12 種類について、同時に同条件で行った。

食塩濃度 11%、汲み水歩合 100%、150%、200%の塩麹(g~l)について、糖化および食塩添加後に 4℃で一晩(16 時間)おいて食塩をなじませた後の Brix -NaCl 値を図 1 に示す。いずれの汲み水歩合でも、糖化後に食塩を添加した方が、Brix-NaCl 値が高くなった。また、これら 6 種類の塩麹の官能評価の結果を表 2 に示す。g~i は、色の評価がやや低かったが、これは糖化の進行に伴いメイラード反応による着色が進んだためと考えられた。しかし、他の項目については、食塩添加後に糖化した j~l よりも、糖化後に食塩を添加した g~i の方が高評価であった。特に、組成と味についての評価が高かった。これは後者の方が、糖化が進んだことにより質感がなめらかになり、甘味が増えたためと考えられた。

表1　糖化型塩麹の仕込み配合(2)

	糖化→食塩添加									食塩添加→糖化		
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l
麹(g)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
食塩(g)	0	0	0	17	22	26	25	30	38	25	30	38
水(ml)	100	150	200	100	150	200	100	150	200	100	150	200
食塩濃度(%)	0	0	0	8	8	8	11	11	11	11	11	11

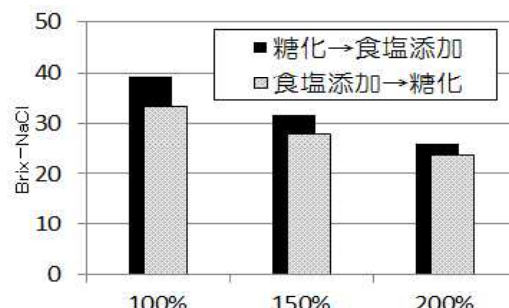



図1　食塩添加時期の違いによる最終Brix−NaCl値

表2　食塩添加時期の異なる糖化型塩麹の官能評価

		食塩	汲水	色	香り	味	組成	総合
糖化→食塩	g	11%	100%	-0.15	0.38	0.54	0.54	0.46
	h	11%	150%	-0.31	0.38	0.54	0.54	0.69
	i	11%	200%	-0.38	0.38	0.46	0.38	0.38
食塩→糖化	j	11%	100%	0.31	0.31	-0.08	-0.08	-0.15
	k	11%	150%	0.00	0.23	0.00	-0.38	-0.23
	l	11%	200%	0.08	0.08	0.00	-0.08	0.08

-2: とても悪い　-1: 悪い　0: ふつう　1: 良い　2: とても良い

３．４．原料のエタノール殺菌

米麹には、麹菌以外に酵母や乳酸菌、好気性芽胞菌などの微生物が存在する。一般的に、塩麹は高い食塩濃度を保つことでこれら微生物の増殖を抑制しているが、製造温度が常温付近であることから、製造の途中でこれらの麹菌に付着する微生物による腐敗を引き起こす可能性もある。そこで、製造途中での微生物増殖を抑制するため、原料となる米麹の殺菌を試みた。

３．４．１．エタノールによる殺菌効果

エタノール殺菌には通常殺菌効力の高い 70~80%(v/v)のエタノールが使用される。そこで、30~80%(v/v)に調製したエタノールを試験に供し殺菌効果について検討した。米麹と米麹の 1.5 倍容量のエタノールを混和し一晩(16 時間)室温にて浸漬させた後、米麹を 40 ℃にて乾燥させた。

これまでの知見から米麹の表面には一般生菌として 10^6~10^{10} 個/g　程度、好気性芽胞菌として 10^6~10^7 個/g 程度の微生物が存在していることが知られている [2)]。今回の試験では、30~80%(v/v)エタノールいずれの処理区でも 100CFU/g 以下まで生菌数が減少し、十分な殺菌効果が得られた(試験結果非公表) 。

エタノールによる殺菌効果について、好気性芽胞菌である *Bacillus* 属については 80%(v/v)でも殺菌効果がないことが示されている [3)]が、この報告では接触時間

が 20 ℃で 5 分間と短い。今回の試験では *Bacillus* 属にも効果が認められたが、この原因の一つとして 12 時間以上接触させたことで効果が高まり、また十分な量のエタノールに浸漬させたことによって表面に付着していた菌が洗い流されたことが考えられる。

３．４．２．エタノール浸漬による米麹のプロテアーゼ活性の変化

塩麹の特徴は甘味だけでなく、米の旨味が感じられる点も挙げられる。塩麹においてこの旨味を作り出すのは麹菌が産生するプロテアーゼであり、調理に活用されるときに重視される。酵素の中にはアルコールの存在によって活性が低下するものもある。そこで、エタノール浸漬処理による米麹のプロテアーゼ活性への影響について試験した。

未処理の米麹を 100%とした時のプロテアーゼ(pH6.0)の相対活性は、60~80%(v/v)処理区では約 80%、30~50%(v/v)処理区では 50%以下であった(結果非公表)。この結果から、米麹のプロテアーゼは低濃度エタノール浸漬によって活性が低下したか、またはエタノール溶液中に溶出した可能性が示唆された。

以上３．４．１、３．４．２の結果から、製品の安全性と味(旨味)を考慮した場合、浸漬処理に使用するエタノール濃度は 70%(v/v)程度が有効であると考えられた。

３．５．エタノール浸漬処理麹を用いた塩麹

未処理の米麹と、70%(v/v)エタノールに浸漬した後に乾燥させた米麹(以下 アルコール処理麹)の 2 種類を用いて糖化型塩麹を試作し、官能試験を実施した。また、アルコール処理麹を使用した場合の塩麹の保存性について検討するため、未処理麹とアルコール処理麹を用いて「熟成型塩麹」および「糖化型塩麹」を試作し、30 ℃ 12 日間の保存試験に供した。また、保存試験の際には、酒精の添加の有無の試験区も設け、酒精による制菌効果についても検討した。

３．５．１．米麹のアルコール処理と官能評価

未処理麹およびアルコール処理麹を用いて、「糖化型塩麹」を製造した(表 3)。糖化時間は 7 時間とした。官能試験の結果を表 4 に示す。

アルコール処理麹を用いた糖化型塩麹の官能試験の結果、いずれの試験区でも未処理麹よりも高い評価が得られた。アルコール臭に関する指摘もあったが、味については「すっきりしている」「調味料を添加しているように感じる」などのコメントが挙げられた。また、エタノール処理によりプロテアーゼ活性が減少した原料を用いたにもかかわらず、旨味が少ないなどのコメントは挙げられなかった。むしろ、エタノール処理によって、未処理にはない風味が加わったことで、既成の商品との差別化が図れるのではないかと思われる。

表3　糖化型塩麹の仕込み配合(3)

	未処理麹		アルコール処理麹		
	m	n	o	p	q
麹(g)	100	100	100	100	100
食塩(g)	17	25	13	17	25
水(ml)	100	100	100	100	100
食塩濃度(%)	8	11	6	8	11

表4　原料のエタノール処理の有無による官能評価

		塩分	色	香り	味	組成	総合
未処理	m	8%	-0.23	0.85	0.85	0.31	0.54
	n	11%	-0.15	0.38	0.54	0.54	0.46
Alc.処理	o	6%	0.85	0.69	1.15	0.62	1.08
	p	8%	0.85	0.62	1.08	0.54	1.08
	q	11%	0.62	0.54	0.69	0.38	0.62

-2: とても悪い　-1: 悪い　0: ふつう　1: 良い　2: とても良い

３．５．２．アルコール処理麹を用いた塩麹の保存性

アルコール処理麹を用いて熟成型および糖化型塩麹を試作し、30 ℃で 12 日間保存した時の生菌数を比較した。仕込み配合は表 5 に示したとおりで、それぞれの配合について未処理麹とアルコール処理麹の試験区を設け、さらに保存時における酒精の効果について検討するため、各々について酒精添加有無の試験区を設けた。

表5　塩麹の仕込み配合

	糖化型塩麹						熟成型塩麹		
	G	H	I	J	K	L	サ	シ	ス
麹(g)	100	100	100	100	100	100	100	100	100
食塩(g)	13	16	17	22	25	30	15	22	30
水(ml)	100	150	100	150	100	150	150	150	150
食塩濃度(%)	6	6	8	8	11	11	6	8	11

酒精は、製造後に総重量に対して最終濃度3%(v/w)となるように添加した。

(1)　熟成型塩麹

熟成型塩麹(表 5、サ~ス)は、20 ℃で 14 日間、5 ℃で 5 日間熟成させた。熟成後、試料を二等分し、その一方に重量に対して最終濃度 3%となるように酒精を添加して混和した。この試料について Brix および Aw を測定した。また、混和後の塩麹を、30 ℃で 12 日間保存し、微生物試験に供した。

未処理麹、アルコール処理麹とも製造直後の菌数が 10^3CFU/g を大きく超えており、30 ℃貯蔵後はさらに増加していた(菌の形状から、乳酸菌および酵母と推測される)(結果非公表)。菌数の増加は、特に塩分濃度 6%の試験区で顕著であった。酒精を添加した試験区では、保存後菌数の増殖が 1/10 程度に抑えられているが、アルコール処理麹の塩分 11%の試験区を除いては、いずれも未殺菌の状態で流通できるものではなかった。

製造直後でも 10^6CFU/g 程度の微生物が検出されており、アルコール処理麹を原料にした場合でも菌数を

抑えられなかった。これは、20 ℃で開放系においた 14 日の間に空気中の細菌が増殖したか、原料中に残存した微生物が増殖したものと推定される。以上のことから、塩分濃度 11%以下で熟成型塩麹を製造する場合には、製造後に殺菌する必要があると考えられた。

(2)　糖化型塩麹

糖化型塩麹(表 5、G~L)は、55 ℃ 7 時間糖化させた。この試料を二等分し、その一方に重量に対して終濃度 3%となるように酒精を添加して混和した。この試料について Brix および Aw を測定した。また、これらの塩麹を 30 ℃で 12 日間保管し、微生物試験に供した(結果詳細非公表)。

試験の結果、食塩濃度が低く、汲み水歩合が高いほど生菌数が多い傾向があった。酒精添加の違いによる生菌数を比較すると、酒精を添加した方が全体的に菌数は少なくなっており、一定の制菌効果が認められた。しかし、制菌効果については、これよりも原料米麹の殺菌の有無による差の方が顕著であった。未処理麹とアルコール処理麹の同一配合の試験区を比較すると、ほとんどの試験区において、アルコール処理麹の生菌数は未処理麹の 1/100~1/1,000 程度の生菌数となっている。さらに、アルコール処理麹の試験区では、食塩濃度 8%の低塩濃度においても、30 ℃保存後の生菌数は 10^3 個/g 以下に抑えられた。

30 ℃保存後の生菌数が 10^3 個/g　以下に抑えられた試験区について、酒精なしの試験区では、Brix60、Aw0.83 以下のもので効果が見られた。また、酒精ありの試験区では Brix50~58、Aw0.81 以下のもので効果が見られた。糖化型塩麹の場合、汲み水歩合の違いは官能評価において大きな差がない。しかし、汲み水が増えると Brix は下がり、水分活性は高くなる。微生物によって汚染される可能性が高まることから、汲み水歩合は 100%が適当であると考えられた。

また、未処理麹とアルコール処理麹の同一仕込み配合の試験区を比較すると、アルコール処理麹の試験区の Brix が高くなっていることがわかる。これは、アルコール浸漬処理により殺菌されるとともに、原料となる米麹自体が脱水されたことによると考えられた。そのため、同じ配合で仕込んだ場合、アルコール処理麹の方が吸水が高く、結果として高 Brix、低水分活性となったことで制菌効果がより高まったと考えた。

４．結言

塩麹は新しい調味料として注目されているが、塩分の高さが高血圧者や健康志向の消費者に受け入れられにくい。しかし、単純に食塩濃度を下げると、微生物が増殖しやすくなるため、低塩分濃度の塩麹を流通させるには製造後の加熱等による殺菌が必須となるが、殺菌により麹の酵素が失活してしまう。

消費者には麹の酵素が失活していない生タイプの塩麹が重宝されていることから、本試験では、未殺菌で、低塩でも日持ちする塩麹の製造方法について検討した。塩麹は「熟成型」と「糖化型」の 2 種類を製造し、比較した。試験の結果を以下にまとめる。

- 無作為に抽出した市販塩麹は、未殺菌商品のうち酒精無添加の商品は生菌数が多くなり、常温流通は困難と考えられた。殺菌済みの製品の菌数は 100 個/g 以下であった。
- 官能評価の結果、特に色と組成が良好なものが好まれ、塩辛さやざらつきは評価を下げる傾向にあった。
- 熟成型塩麹と糖化型塩麹では、糖化型塩麹の評価が高かった。
- 糖化型塩麹：官能評価及び微生物制御の観点から、適当な汲み水歩合は 100%程度であると考えられた。また、糖化終了後に食塩を混和すると、塩味だけでなく十分な甘味も得られ、評価も高い結果となった。
- 熟成型塩麹：食塩濃度が高くなるほど微生物増殖は抑えられたが、糖化も抑制されたため、甘味が少なくなった。また、塩味が強く感じられ、官能評価の結果が悪くなった。
- 塩麹の生菌数は、原料米麹を 70%(v/v)エタノールに浸漬処理することで抑制された。食塩濃度 8%、汲み水歩合 100%の糖化型塩麹を 30 ℃、12 日間保存した場合でも、生菌数は 10^3 個/g 以下に抑えられた。保存性を高めるため、酒精を添加するとより効果的であった。
- アルコール処理によって、米麹の中性プロテアーゼ活性は未処理麹に比べて 20%減少した。しかし、官能評価においては、アルコール処理麹を使用したほうが高い官能評価結果が得られた。
- 酒精を添加しない場合は Brix60、Aw0.83 以下、酒精を添加する場合は Brix50~58、Aw0.81 以下とすることにより菌数を抑制できることがわかった。

以上の結果から、特殊な機械や装置を用いることなく、低塩かつ日持ちする塩麹の製造が可能であることが分かった。食塩濃度を気にする消費者と、麹の酵素が生きた生タイプの製品を求める消費者の両方の要求に応えられる特徴的な製品となると期待される。

参考文献

1)全国味噌技術会：“ 基準みそ分析法 ”、1995
2)村上英也：“ 米麹の微生物 ”、醸造協会誌、60(2)、p18-22、1965
3)篠崎健：“ エタノールによる殺菌 ”、食品工業、55 (9)、pp.61-65、2012

県産材を用いたインテリア製品の開発

Interior design using the material of the region

会津若松技術支援センター産業工芸科　　遠藤知里　橋本春夫　宇野秀隆
福島県郡山地区木工工業団地協同組合

木材関連業界が風評被害等に多くの影響を受けている現状を受け、県産材の有効利用と現状打破を図るため、県産材による新しいインテリアのデザイン開発および製品開発を行った。開発に伴い、調査・コンセプトの制作・デザイン開発・試作制作を行った。その結果、子供用インテリア「いきものついたて」を開発することができた。

Key words:県産材、子供用、インテリア、プロダクトデザイン

１．緒言

県内の木材関連業界は、地産地消の考えから県産材の利用を推進してきたが、平成 23 年度の原子力発電所事故による森林の被害や風評被害などで低迷が懸念されている。しかしながら、そうした中でも住宅などの木材利用にエコポイントの導入が発表されるなど木工業界の活発化が期待されるところもある。低迷する現状を打破し発展の機会を活かすため、平成 23 年度に実施した共同研究をさらに発展させると共に、県有特許を受けながら新たなインテリア製品のデザイン開発が提案され、製品開発を行うこととなった。

２．開発

２．１．調査

開発を行うにあたって、今後の需要が見込まれる幼稚園等の施設に対応したインテリア製品を開発することを目標とした。それにあたり、はじめに、幼稚園施設向けの製品の色彩・形状・使用状況などの調査を行い、幼稚園施設を見学、施設で働いている職員に話を伺った。調査の中で得られた事例は、次のとおりである。

・　成長期の年齢層の子供が対象となるため、幅広い身長や体格に対応できる製品が必要となる。
・　クラスは年齢によって分けられ、クラスによってイスなどの高さが違う。
・　子供にわかりやすいよう、クラスの色やイラストを設定し、インテリアもそれに合わせたものを各クラス設置している。
・　子供は壁や床に近いため、衛生面は必ず考慮されている。
・　怪我が最も心配されるところなので、柔らかく丸い製品が好まれる。
・　明るく楽しげな雰囲気を実現するカラフルな配色が好まれる。
・　限られた部屋で多様な授業に対応するため、収納機能はとても重要である。
・　女性が持ち運びをすることが多いため、運搬しやすさも重要視される。
・　子供の成育空間として木材は好まれる傾向にある。
など

２．２．コンセプトの策定

調査の結果を踏まえ、製品開発のコンセプトを策定した。家庭用の家具と異なり、子供が使用者となり大人が運搬者となるなどの特殊な環境に対応するため、提案者との話し合いの結果、「実用性が高く、空間に楽しさを加えられる家具」をコンセプトととした。子供目線と職員目線、そして、保護者の目線を考慮し、デザインを行っていくこととなった。

２．３．開発媒体の決定

開発媒体は、調査で得られた意見やコンセプトに沿ったものを選定した。その中で、空間を仕切る「いきものついたて」、身長によって高さを選ぶことができる「イス」、使い勝手の良い「スツール」を候補とした。開発媒体決定に伴い行ったアイディアスケッチを、図 1、2 に示す。

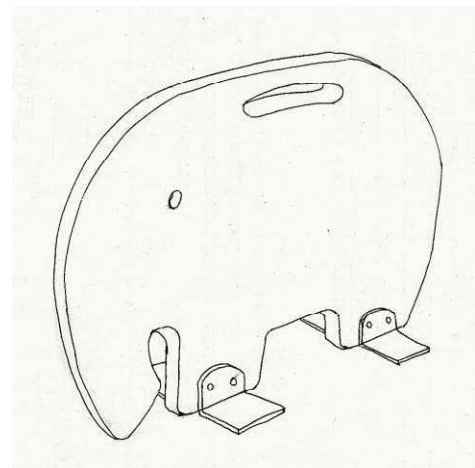



図1　アイディアスケッチ例(いきものついたて)

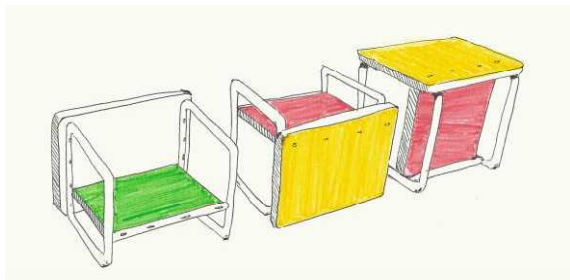



図2　アイディアスケッチ例(イス)

その後、より具体的なデザインスケッチを行い、提案者との話し合いの結果、「いきものついたて」の開発を行うこととした。

２．４．図面制作および模型制作

デザインスケッチをもとに、NC 加工機に対応した詳細な図面の作成や模型の制作を行い、検討を行った。図面例を図 3、4 に、模型製作を図 5 に示す。

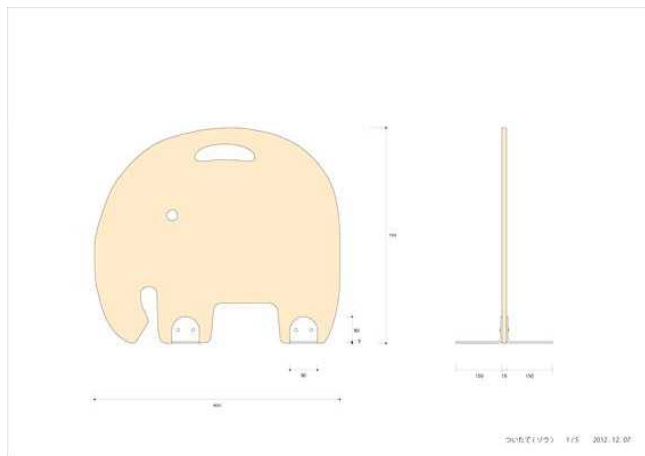



図3　図面　ゾウ

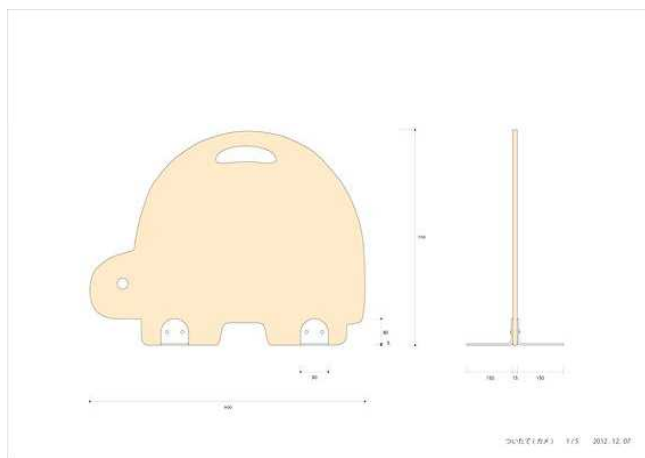



図4　図面　カメ

図5　模型の制作

ついたての形状については、子供の活動範囲を限定しつつ、職員からは子供が良く見え、またぐことも可能な大きさに設計し、怪我しにくいよう、丸みのあるフォルムを基本とした。ゾウ・クジラ・カメと 3 種類のバリエーションをつくり、用途によって使い分けることができるものとした。

塗装においては、県産材である杉材の表面を強化しつつ、カラフルな塗装が可能となるコーティング処理技術を応用して、より実用性の高い製品を目指した。その上で、前年度での開発を踏まえ、今回の開発製品の使用にあう製造工程、塗料の種類の検討も行った。なお、製造工程に関しては、大量生産やコスト面への考慮も行い、さらなる改良を進めている。製造工程改良の検討例を図 6 に示す。

図6　製造工程の改良
（塗装後に切断という工程の模型断面）

３．結果

県産材を使用した新たな製品「いきものついたて」の開発を行うことができた。特徴については、以下のとおりである。

(1) 幼稚園施設用を想定したついたてである。(図 7)
(2) 実用性が高く、空間に楽しさを加えられる家具」というコンセプトに沿ったデザインとなっている。
(3) ゾウ・クジラ・カメと 3 種類のバリエーションを設けており、年少・年中・年長とクラス分けに使用したりなどができるようになっている。
(4) いきものをモチーフとし、幼稚園児でも判別のしやすいものとなっている。
(5) 丸みの強くすることで、怪我などを起こしにくいフォルムとなっている。(図 8、9)
(6) 木の素材を活かすため、必要最低限の形状と配色で設計し、木目が見える塗装を行っている。
(7) 持ち手は手になじむ曲線で設計し、持ちやすさを考慮しつつ全体のフォルムを邪魔しない形状となっている。(図 10)
(8) 高さの設定として、子供の移動範囲を仕切りつつ、大人の目が届くことを考慮した設計となっている。
(9) 女性が運搬するため重量を考慮しつつ、ついたての仕様に耐えうる厚み幅としている。
(10) ステンレスの脚を採用し、取り外し可能なものとしている。

図7　いきものついたて

図8　クジラ　尾

図9　ゾウ　鼻

図10　ゾウ　持ち手

４．結言

県産材を使用した新しい子供用インテリア製品の開発を行い、調査・デザイン開発等を行った。

結果、子供用インテリア「いきものついたて」を開発することができた。

会津桐突板による高級壁紙技術を応用した新たな用途開発

The design adapting the technology of sliced veneer wallpaper

会津若松技術支援センター産業工芸科　　遠藤知里　橋本春夫　宇野秀隆
株式会社 松竹工芸社　　小針悦也

会津突板による高級壁紙技術を応用しつつ、新たな用途を持つプロダクト製品を開発を行った。製品開発にあたり、コンセプトの作成・製品およびパッケージのデザイン開発・試作の制作等を行った。その結果、「コースター」および「ランチョンマット」を開発することができた。また、新たな用途に対応するための耐水性の向上技術等の検討を行うことができた。

Key　words:会津桐、突板、壁紙、プロダクトデザイン

１．緒言

株式会社松竹工芸社(以下、提案者という。)は、会津桐を使用した高級壁紙を製造している。桐は柔らかく暖かみがあるという特徴を持っているが、美しい木繊維を持つこともまた大きな特徴のひとつである。その木繊維は見る角度によってさまざまな光の反射を起こし、独特な存在感と効果を生み出す。提案者は、この特徴を活かし、型抜きした桐突板を芸術的に張り合わせ、壁紙を製造している。提案者によって、この技術を利用した新たな商品展開が模索されたが、風評被害や耐水性などの問題によりいまだ商品化には至っていない。

そこで、本開発では、会津桐突板による高級壁紙技術を応用したプロダクト製品のデザイン開発に関する提案を受け、製品開発を行うこととした。また、独特な光反射を損なわず耐水性を持たせる技術の開発もあわせて行った。

２．開発

２．１．コンセプトの策定

新たな製品を開発するにあたって、コンセプトを策定した。長年、壁紙を製造してきた提案者にとって、壁紙は単に部屋を彩るアイテムではなく、そこに住まうひとの日常となり、また、特別な空間となり、人生を豊かにしていくものである。その根源となる思いを新たに開発する製品にも受け継がせることを考慮し、話し合いを重ね、「贅沢な時間をつくるデザイン」をコンセプトとすることとした。

２．２．開発媒体の決定

コンセプトを決定し、次に開発媒体の検討を行った。素材が平面であることや提案者は現在壁紙のみを製造していることなどを考慮し、提案者との話し合いにより開発媒体は以下の条件に当てはまるものとした。

- 消費者の日常に密着している
- 壁紙の高級感を損なわない
- 高級志向の領域を有する
- 手に取りやすい価格設定が可能である
- 提案者が製造可能である
- 継続して製造していくため、展開が可能である

など

壁紙との相性を考慮した理由は、この開発によって従来製品である壁紙の販売促進の効果を得ることも考慮したためである。

コンセプトや以上の条件などを考慮し、テーブルウェア、照明器具、ファッションアイテム、文房具などから候補があがったが、「コースター」と「ランチョンマット」が最終候補となり、これらを開発することとなった。

２．３．アイディアスケッチと試作模型

開発媒体が決定し、アイディアスケッチを行った。さまざまなターゲットユーザー、使用シーン、ブランド展開を想定し、「コースター」と「ランチョンマット」のアイディアを検討した。想定した例は、次のとおりである。

例 1)ターゲットユーザー：男性
　　使用シーン：オフィス内にて
　　ブランド展開：雑多となりがちなオフィスの卓上にゆとりを生み、より快適なビジネス空間を提供する文具アイテム

例 2)ターゲットユーザー：女性
　　使用シーン：プレゼントとして
　　ブランド展開：新生活やブライダルなどお祝いに適したプレゼント

例 3)ターゲットユーザー：自然派志向の女性
　　使用シーン：日常、おもてなし
　　ブランド展開：板材による製品とは異なる突板の風合いを活かしたキッチンウェア

など

複数のアイディアを練り、模型の制作も行いながら、デザインの具体化を行った。図 1 に模型制作を、図 2、3 に模型例を示す。

図1　模型制作

図2　模型例(ランチョンマット)

図3　模型例(コースター)

２．４．製造方法の確立

デザイン開発を行うと同時に、製品の製造方法の研究も行った。従来の壁紙と大きく異なる点は、両面に突板を張り合わせること、使用しやすい厚さが求められること、より高い耐水性が求められることである。これらを解決し、提案者が実施可能な製造方法を研究した。研究の過程で起こった問題と解決方法は、以下のとおりである。

・　突板と突板を接着シートのみで接着した場合、木目に沿って割れが生じてしまう。
　→　中央に不織布を加えることで、割れの発生を回避した。これにより、多少の曲げに耐えうるものとなった。
・　接着後、中央の不織布が裂け、剥離してしまう。
　→　厚さ等を考慮しつつ、剥離の起こりにくい不織布を選定した。
・　ランチョンマットには、より厚みのある素材が求められる。
　→　厚さがあり、剥離しにくい不織布を選定した。
・　「コースター」と「ランチョンマット」としての仕様をかなえるため、耐水性が求められる
　→　熱湯による耐水性試験を行い、剥離しにくい素材を、選定した不織布の中から、さらに選定した。また、接着シートに関しても、より高い耐水性のあるものを選定した。試験例を図４に示す。

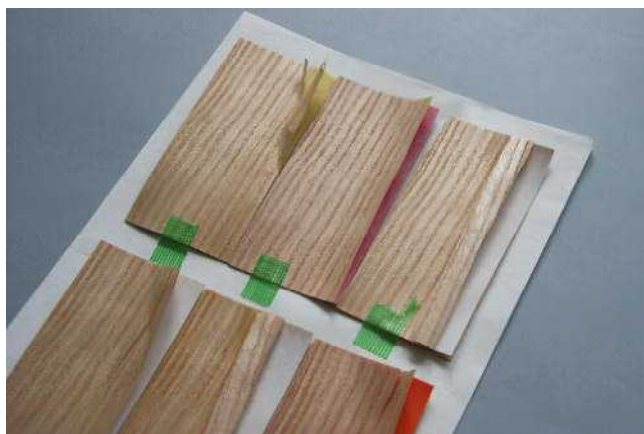



図4　不織布の検討

製造方法の研究により、製品の使用を満たす素材と製造方法を確立することができた。

３．結果

デザイン制作と試験、模型製作等により、「コースター」、「ランチョンマット type 1」、「ランチョンマット type 2」を開発することができた。ターゲットは自然志向の高い女性とし、桐の風合いを活かしつつ、壁紙の高級感を受け継ぐデザインとなった。

・　コースター(図 5)

既存の壁紙のパーツを活用し、ひとつのキッチンウェアとして生まれ変わらせた製品である。

自然志向の女性をターゲットとし、自然素材やシンプルな幾何図形をモチーフとすることで、さまざまな環境に合うデザインとした。

突板パーツに不織布を張り合わせ、それを表裏に張り合わせている。表裏の木目の方向を調節することにより曲りによる変形を軽減することができ、また、クリア塗装をすることで耐久性・耐水性を高めることができる。不織布につきましては、剥離や水に強く、製造に適しているものを試験により選別した。

既存のパーツを使いながら、壁紙とは全くことなる製品となり、桐がもつ暖かさ・軽やかさ・上品さによって食卓を特別な空間に変えるものとなった。

図5　コースター

・　ランチョンマット type 1(図 6)

既存の模様をそのまま活かし、長方形にトリミングしたもの。企業が持つ高級壁紙の技術を大きく活かすことができ、その特徴とブランドを壊さず受け継ぐことができる新しいアイテムである。製造において、上面と下面の突板の曲りの応力の違いから、湿度や温度による変形が発生してしまうという問題があったが、間に特定の厚手不織布を加えることで、これが軽減できるという結果を得ることができた。また、使用するものが厚手不織布であるため、側面に出る不織布の色で製品の見え方が変わり、壁紙の時には得られなかった雰囲気を持つ製品となった。

図6　ランチョンマット(type1)

・ランチョンマット type 2(図 7)

既存の壁紙のパーツをランダムに見える配置で構成したランチョンマットである。パーツは「葉」を使用し、パーツすべての角度を合わせないことで「落ち葉」や「野草」のイメージを持たせた。『室内・卓上』で使われるランチョンマットに、突板と落ち葉の構成が持つ『自然感』を加えることで、贅沢な食事の時間を演出する。また、企業が持つ突板染色の技術を活かしたライトグリーンと桜色で構成した「春」と、桐の自然な色を活かした「秋」の二つのタイプを制作したため、インテリアを季節ごとにリニューアルさせる消費者の嗜好を満たす工夫も取り入れている。一人分の食事をまとめる「お盆」のような役割ではなく、空間を演出し、日常から一段ランクアップした贅沢を感じることができるランチョンマットである。

図7　ランチョンマット(type2)

・　パッケージについて(図 8)

　パッケージデザインのポイントは、コンセプトである「贅沢な時間をつくるデザイン」をわかりやすく消費者に伝えること、そして、素材となる桐の突板の良さを生かすことである。木目による光の反射を活かすために文字表示にはマットな紙素材を選び、食欲を増発させ暖かみを持つ赤、そして、高級感を持たせるために厚手のものを使用した。また、光を通す突板ならではの素材感を伝えるためボディには透明素材を使用した。グラフィックについては、シンプルな製品と社名の周知を高めるため、必要事項・企業ロゴのみの表示にした。1 色刷り・簡易包装でコストを抑えるのと同時に、グラフィック、特に配色を統一することで、複数のアイテムを同ブランドと認識させることに成功し、高級感を持たせつつ製品がもつ特徴をより強く消費者に伝えられるパッケージとなった。

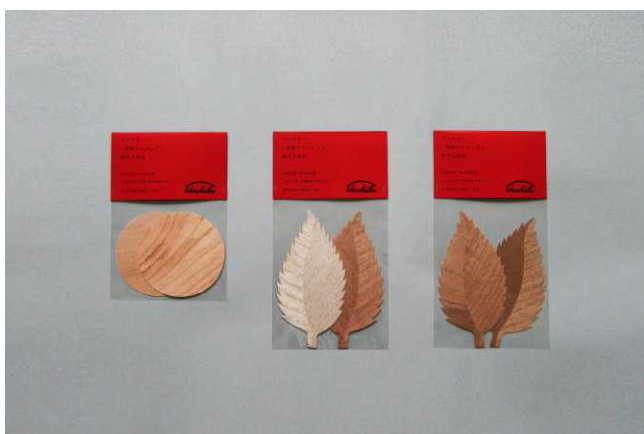



図8　パッケージ例

４．結言

　会津突板による高級壁紙技術を応用しつつ、新たなキッチンウェアという用途をもつプロダクト製品を開発を行った。

　開発に伴い、コンセプト制作・製品およびパッケージのデザイン開発・試作制作を行い、「コースター」および「ランチョンマット」を開発することができた。

　また、新たな用途に対応するための耐水性向上を行うことができた。

若年齢層に提案できる漆器製品の開発

Japanese lacquerware product development that can be proposed to young age

会津若松技術支援センター産業工芸科　　須藤靖典

漆器業界の現状は、原発事故の影響から観光客が減少するとともに、生活様式の変化と儀式的且つ使用上の制限が多く、取り扱いが難しい生活道具とされ年々その需要が低迷している。そのため、漆の新しい活用を模索するうえで、若年齢層に受け入れ易い漆を使った製品を提案することが、業界には重要と考えそのため、本研究ではデザイン性と機能性、遊び感覚を加味した若年齢層に提案できる漆器製品を開発しました。

Key　words:ネイルチップ、漆、転写紙

１．緒言

１．１．素材の選択と塗料の相溶性の検討

今回、漆器の塗装や加飾技術を応用し、女性への提案商品としてファッション性溢れるネイルチップを開発することとした。そして、アクリル樹脂やUV樹脂を使って加工されている、現在のネイルチップとの差別化を図った商品作りを目指した。その際、事前の確認としてネイルチップの素地に漆やウレタン樹脂を塗布し、その密着性確認(JIS-K-5600 に準じ)を行った。その結果、ABS 樹脂を使用した素地に対して密着性は良好であったものの、プライマーを塗布し密着性を増す必要性のある樹脂については、工程的に複雑化することから、本研究での使用素材から除外し研究を進めた。

２．研究内容

２．１．遊び心機能の付与(嗅覚)

２．１．１．芳香剤効果の付与

近年、芳香効果を持った様々な商品が開発されている。通常、芳香剤の目的は、「付香」・「補香」・「マスキング」の役割分担の中で香料が応用されており本研究では、香料を「付香」の目的からウレタン塗料や漆の中に添加・塗布し、ネイルチップに付ける蒔絵模様(デザイン)との相乗効果を狙った活用の方向性を検討した。

２．１．２．香料の選択

香料については、水溶性、油溶性、乳化、粉末の中から、香料ベースをアルコールと水で溶解、抽出した水溶性香料(エッセンス)[1]を使用した。

２．１．３．エッセンスと塗料の相溶性確認

選択した水溶性香料(エッセンス)の種類は、「梨」、「桃」、「苺」、「バニラエッセンス」の 4 種類、その水溶性香料(エッセンス)を IPA に溶解し、その溶液(20%wt)を漆・ウレタン樹脂塗料の重量比に対して約 5%の目安で添加した。その結果、塗料塗布直後では有機系溶剤等の臭いが強かったものの、塗膜の硬化後には付香効果が十分あることが確認できた。しかし、本漆の付香効果はウレタン系樹脂塗料と異なり、添加量を 10~20%程度或いは、それ以上高めなければその効果は期待できないことが分かった。

２．１．４．物性評価とその応用について

付香効果の有無については、ABS 樹脂で成形されたネイルチップや試験片に塗装し、塗膜の硬化を待ったうえで官能評価と密着性確認を行った。図 1 に試作品を示す。その中で、官能試験については担当者レベルでの評価であり、実用化段階となれば水溶性香料(エッセンス)の種類に応じて添加量が若干変ることも予想されるが、本研究では若年齢層に対して芳香性も有効な機能であることが確認できた。

図1　エッセンス添加試作品

２．２．遊び心機能の付与(視覚)

２．２．１．示温効果の付与

印刷用インクに特定の温度帯で有色、無色を繰り返す、可逆性の示温パウダーが配合されたインキがあるがこのインキを今回、加飾を施したネイルチップの上にオーバーコートすることで、模様が見え隠れする「遊び心」を持った装飾性の可能性を検討した。

２．２．２．示温インキと蒔絵の併用とその効果

使用した示温インキ[2]は、温度帯 28~35 ℃で有色から無色に変化するブラックを使用し、加飾には金・銀箔を貼った上に示温インキを平筆を使い薄膜状に延ばし、温度 35~40 ℃、10~15 分程度で有機溶剤を揮発させ、1kW のメタルハライドランプの紫外線で ABS を

変形させることなく塗膜が硬化することを確認した。
　また、その示温インキは期待どおりの視覚効果を現した。図 3 に試作品を示す。

図3　示温インキと金箔を施した試作品

２．３．試作

　塗装、蒔絵、水溶性香料(エッセンス)、示温インキを活用したネイルチップを試作した。その際、「転写紙」や「色彩」のバリエーション、質感等を付加させるとともに、パッド印刷機を併用した装飾工法で試作したネイルチップでは、精密度が格段に向上した。図 4、5 に試作品を図 6~9 に完成品を示す。

図4　示温インキ・香料を添加した試作品

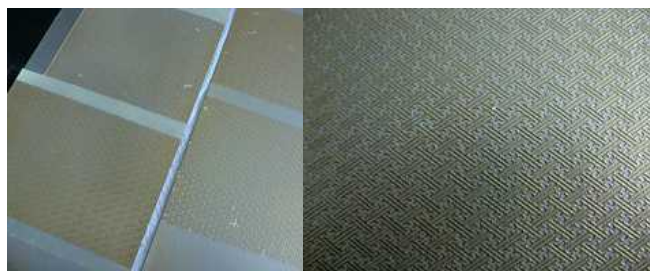



図5　高蒔絵転写紙試作

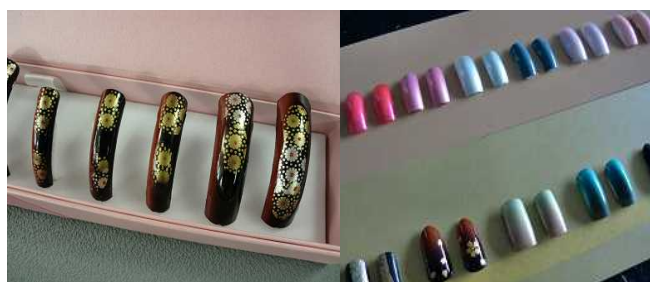



図6　完成品1

図7　完成品2

図8　完成品3

図9　完成品4

３．結言

　若年齢層の女性にターゲットを絞り、ファッション的な機能性を持つネイルチップに漆、合成樹脂塗料さらには蒔絵技術を駆使し、市販のネイルチップ製品との差別化を図りつつ、新たな漆産業の市場を求め研究開発を行ってきた。その中で課題として浮上してきた事項として、ファッション的要素を加味する製品の開発は流行に敏感であるとともに「デザイン力」・「開発の迅速性(スピード化)」が必須であることに気付かされ加えて、自然素材として漆の優美性・機能性は誰もが認めるものであり、その優れた材料を他業種市場に PR し融合化ていくことも今後の漆産業の現状打破のための有効な手段として考えるに至った。

参考文献

1 富士香料化工株式会社 HP、食品香料とは
2)十条ケミカル株式会社、テクニカルインフォメーション、UV 硬化型示温インキ

小径・深穴部分のバリ取り技術の開発

Development of Deburring Technology for Thin and Deep Holes

いわき技術支援センター機械・材料科　　緑川祐二
林精器製造株式会社　　和田泉　小林春之　佐藤幸伸

小径で深穴部の交差穴に発生したバリを除去するために、エンド型ブラシを用いたバリ取り方法を検討した。さらに、機械化を目指しブラシを加工装置に取り付けて実験した結果、短時間でバリおよびかえりを除去することができた。

Key　words:バリ取り、交差穴、小径、深穴、ブラシ

１．緒言

現在、様々な機械や測定機に使用される部品などは、複雑な形状で、かつ微小化・微細化が進んできており、エッジ品質や寸法精度の要求の基準においても、年々厳しくなってきている。特に、精密機器や自動車のエンジン・ブレーキなどに使用される特殊な部品は、小径で深穴が交差した複雑な構造である。これらの穴には、清浄な気体や液体を流して使用するため、内部のバリは目詰まりや汚染を引き起こし、トラブルの大きな原因となり除去が必要である。このため、仕上げ工程の作業者は砥石やヤスリなどの工具を用いて、手作業で時間をかけてバリを除去しているが、個人の技能差や部品の形状によっては、バリを十分に除去することができていない。特に、工具が届きにくい小径で深穴の中のバリを完全に除去することは難しく、早急に解決したい課題である。

そこで、短時間で確実にバリ取りができる方法を確立し、さらに手作業の工程を機械化することで、品質の安定と生産コストの削減を目指すこととする。

２．実験方法

２．１．試験片

試験片は、図 1 に概略を示すアルミニウム合金(5052)製の部品で、穴はドリルで加工しているが、＋型交差部やＬ型交差部にバリが発生する。これらのバリの高さは 0.5~1mm、根元の厚さは 0.05~0.1mm 程度である。また、穴の最小直径は φ3mm、最大深さは 60mm 程度で、内面の表面粗さの許容値は、1.6μmRa 以下である。

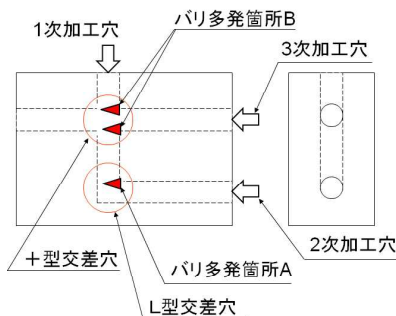



図1　試験片概略図

２．２．実験方法

回転型ブラシ(図 2)を用いて、小径で深穴の交差穴に発生したバリを除去する方法を検討した。実験は、ブラシを加工装置の主軸に取り付けて、回転させながら軸方向に揺動を加え、交差穴全周のバリを除去した。その際、除去したバリの排出と粉塵対策を目的としてクーラントを供給した。

図 2-(a)に示す一般的なスパイラル型ブラシでは、＋型交差穴は対応できるが、L型交差穴ではフィラメントがない先端芯金部が邪魔をして、穴の底面のバリ取りができなかった。そのため、図 2-(b)に示すエンド型ブラシで実験することを検討した。表 1 に加工条件を、表 2 にエンド型ブラシの仕様を示す。

その結果、No.1 の金属製フィラメント(砥石を電着)は、揺動したことで交差した穴に引っかかり先端が曲がってしまった(図 3)。一方、No.2 のセラミック製フィラメント(樹脂バインダ)は、揺動しても弾性があるため、折損や曲がりがなく耐久性があり、実験に適していることがわかった。

(a)スパイラル型

(b)エンド型

図2　回転型ブラシ

表1　加工条件

ブラシ周速度	10m/min
揺動距離	8mm
揺動周波数	0.5Hz

表2　ブラシの仕様

No	フィラメント材	線径	砥粒	粒度
1	金属	φ0.5mm	ダイヤ	#500
2	セラミック	φ0.35mm	―	―

図3　金属製フィラメントの破損

３．実験結果及び考察

３．１．バリ取り実験

３．１．１．Ｌ型交差穴のバリ取り

図 4-(a)に、L 型交差穴のバリ(図 1 の A)を示す。初めに 1 次加工穴からブラシを挿入して、10 秒間バリ取りした写真を図 4-(b)に示す。バリは、部分的に剥離して 2 次加工穴側に曲がり、輪郭が鮮明になった。

次に 2 次加工穴から 10 秒間バリ取りをした写真を図 4-(c)に、ワイヤー放電加工機で切断した断面写真を図 4-(d)に示す。なお、赤点線は切断位置、赤丸は図 4-(a)のバリ部を示す。このように、合計で 20 秒間バリ取りした結果、かえりもなくきれいにバリを除去することができた。また、ブラシ周速度は、研削力を考慮してブラシ許容最大回転数の 12,000rpm (132m/min)で実施し、他は表 1 の条件とした。

(a) バリ取り前

(b) バリ取り後（1方向）

(c) バリ取り後（2方向）

(d) 切断した断面

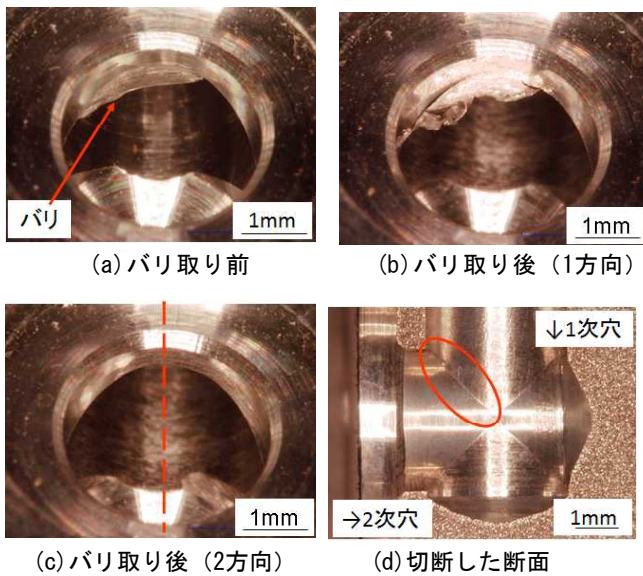



図4　バリ取り前後写真（L型交差穴）

３．１．２．＋型交差穴のバリ取り

図 5-(a)に、＋型交差穴のバリ(図 1 の B)を示す。初めに 1 次加工穴から、10 秒間バリ取りした写真を図 5-(b)に示す。大部分のバリは除去できたが、穴の下部に一部が残留している。この箇所は、次工程である 3 次加工穴からの除去が難しいため、さらにバリ取りを 30 秒間追加(計 40 秒)した写真を図 5-(c)に示す。ほぼバリが除去できたことがわかる。次に 3 次加工穴から 10 秒間バリ取りした写真を図 5-(d)に、断面を図 5-(e)に示す。このように、合計 50 秒できれいにバリが除去できた。しかし、L 型のケースと比較して時間がかかった原因は、交差した穴が同径(φ3.5mm)であるため、揺動してバリ取りした場合、フィラメントの先端が交差穴に巻き込まれて、十分に穴の下部まで届かなかったと思われる。この対策として、揺動距離をさらに長くするか、フィラメント材の強度の変更などの検討が必要と考えられる。

(a) バリ取り前

(b) バリ取り後（10秒）

(c) バリ取り後（40秒）

(d) バリ取り後（2方向）

(e) 切断した断面

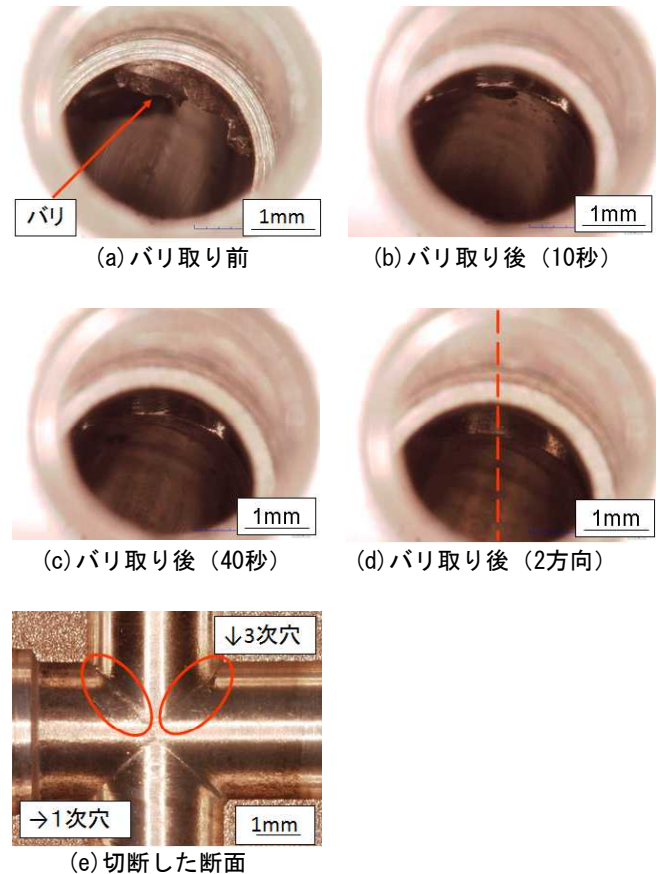



図5　バリ取り前後写真（＋型交差穴）

３．２．品質確認

バリ取り前後の表面粗さ(図 6)は、0.11μmRa から 0.30μmRa へ上昇し(許容値：1.6μmRa 以下)、一方内径寸法(図 7)は 3.490mm から 3.491mm になった。このように、バリ取りしても仕上げの品質を損ねないことを確認した。

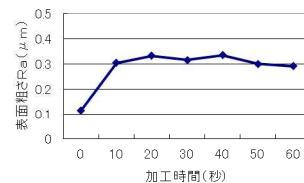



図6　表面粗さの変化

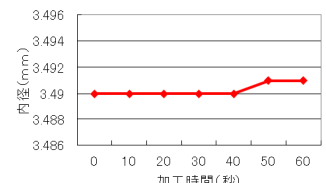



図7　内径寸法の変化

４．結言

(1) エンド型ブラシを用いて、小径・深穴部に発生したバリを除去することができた。

(2) L 型交差穴に発生したバリを、20 秒で除去することができた。

(3) 手作業のバリ取り工程を、機械化することができた。

米麹甘味料の結晶化抑制に関する研究

Crystallization control of natural sweetener made of *koji*

会津若松技術支援センター醸造・食品科　　中島奈津子　大島健司　小野和広
有限会社仁井田本家　　仁井田穏彦

米麹を糖化した糖化液をろ過し、濃縮させて製造する蜂蜜様の米麹甘味料において、保存中に糖分が結晶化し、析出固化してしまうことがある。この問題を解決するため、結晶化抑制の方法について検討した。まず糖化液の pH および Brix を調整し、保存試験にて結晶化の様子を確認した。また、糖化液に糖類を添加し結晶化の抑制効果を確認するとともに、新たに、糖化液中のオリゴ糖濃度を高めることで結晶化抑制が行えることを見出した。オリゴ糖製剤の添加または糖化酵素の使用によってオリゴ糖含量を増やすことによって結晶化が抑制できる可能性があり、製品の安定化に寄与するものと考える。

Key　words:米麹、甘味料、グルコース、結晶

１．緒言

米麹は、古来より清酒、味噌など伝統的な発酵産業に用いられ広く食されてきた。近年はこれに加え、塩麹や醤油麹などの旨味調味料をはじめ、バラエティに富んだ製品が販売されている。米麹を原料とした甘味料(米麹甘味料)は、砂糖の代わりに使用できる天然甘味料として自然派嗜好者を中心に市場を広げている。

本研究における米麹甘味料は、米麹糖化液(甘酒)を製造し、そのろ液を濃縮したものである。ジャムタイプ(甘酒を煮詰めたもの)とは異なり、透明でとろみがあり、蜂蜜様の質感を持つことが特徴である。しかし、製造後に容器内で糖分が結晶化してしまう問題が生じており、製品化にあたりその改善と安定性の向上が望まれている。そこで本研究では、米麹甘味料の結晶化を抑制する条件について検討した。

なお、本研究は有限会社仁井田本家(郡山市)より平成 24 年度ものづくり復興支援事業技術開発事業に提案された課題である。

２．実験方法

本報では以降、米麹を糖化した後、それをろ過して得たものを「糖化液」と称す。また、糖化液に他の糖類などを添加または pH 調整などを行ったものを「加工糖化液」、糖化液および加工糖化液を濃縮して得たものを「濃縮液」と称す。

２．１．供試材料

加工糖化液の原料となる糖化液(pH5.8、Brix31.2)は、(有)仁井田本家より提供された(以下、(有)仁井田本家製の糖化液と称す)。pH 調製には 10%乳酸溶液を用いた。また、糖類はソルビトール(物産フードサイエンス(株))、グリセリン(和光純薬工業(株))、パノース((株)林原商事)、果糖(八宝食産(株))を用いた。

酵素添加試験用の糖化液の調製には、市販の米麹および水道水を使用した。また、試験用にグルコアミラーゼ、トランスグルコシダーゼ(α-グルコシダーゼ)を使用した。なお、(有)仁井田本家製の糖化液には酵素剤は使用されていない。

２．２．試作方法

糖化液調製：米麹 200g に水道水 400mL を加え、あらかじめ 55 ℃に保った恒温水槽の湯浴中にて 7 時間、混和しながら糖化させた。糖化の際には、市販米麹のグルコアミラーゼ力価が 300U/g　koji となるように不足分をグルコアミラーゼにて補填した。これを高速冷却遠心機(CR21G)にて遠心分離(9,000rpm、10 分間)して上清を得た後、清澄化のために上清を定量ろ紙 No.2(ADVANTEC)にてろ過した。

加工糖化液：(有)仁井田本家製の糖化液を、３．実験結果および考察に記載したとおりに pH 調製または糖類添加を行って調製した。

濃縮液：糖化液および加工糖化液をロータリーエバポレーター(ヤマト科学(株))にて減圧濃縮した。Brix を糖度計((株)アタゴ)にて測定し、一定の Brix 値となった時点で濃縮を終了した。

２．３．分析方法

保存試験は、２．２のようにして得た濃縮液を 50mL 容の PP 製遠心チューブに分注し、5 ℃および 20 ℃で保管した。Brix は、試料を適宜希釈し、糖度計((株)アタゴ)にて測定した。全糖および直糖は、基準みそ分析法[1]に準じて測定を行った。粘度は、20 ℃にて粘度計(SV-10　(株)エーアンドディ)を用いて測定した。糖化液調製に用いた米麹のグルコアミラーゼ力価は、糖化力分別定量キット((株)キッコーマン)を用いて測定した。糖組成は高速液体クロマトグラフィー(HPLC)(日本分光(株))にて以下の条件で測定した。カラム：Migtysil　NH_4(4.6mmID*250mm　粒径 5μm)(関東化学(株))、移動相：75%CH_3CN、流速：1.0mL/min、検出器：RI、カラム温度：30 ℃、インジェクション：10μL。糖組成割合から算出した甘味度は、グルコース 70、アラビノース 60、マルトース 40、ソルビトール 51、フルクトース 140、キシロース 67 として計

算した。

３．実験結果および考察

３．１．結晶化物の分析

これまでに試作した甘味料(濃縮液)のうち、保存中に結晶析出が起こったものについて、結晶部分と非結晶部分の糖組成を HPLC にて測定した。

その結果、いずれも大部分がグルコースであることが分かった(結果未公表)。

グルコースは一定濃度以上の溶液になると析出しやすい性質があり、この性質は工業的なブドウ糖生産に用いられている [2]。今回、目標とする蜂蜜様の質感を得るために濃縮を行った結果、グルコース濃度が高くなり、結晶化を招いていることが予想された。

３．２．市販蜂蜜の組成・成分分析

蜂蜜が通常結晶化しにくい理由として、グルコース以外にフルクトース(果糖)が含まれており、フルクトースとグルコースの比率(F/G)が、F/G ≧ 1.0 であれば結晶化しにくいことが知られている [3]。

蜂蜜と米麹甘味料の成分的な違いを検討するため、市販蜂蜜 4 種類について分解率(DE)、糖組成を分析した(結果非表示)。また、蜂蜜の粘度は 65~84P(20 ℃)程度であった。

今回分析した全ての蜂蜜の糖組成は F/G>1.0 となっており、保存中の結晶化も確認されなかった。

３．３．pH調製による結晶化抑制効果

これまでの知見から、甘蔗汁からショ糖の結晶を得る際に甘蔗汁の pH が影響することが示されている [4]。そこで、本研究において結晶化に pH が及ぼす影響を調査するため、(有)仁井田本家製の糖化液を用い、pH の異なる 4 種類(pH4.3、4.8、5.7、6.2)の加工糖化液を調製した。これらを減圧濃縮して Brix82 の濃縮液を試作し、保存試験(5 ℃、20 ℃)に供した結果を図 1 に示した。

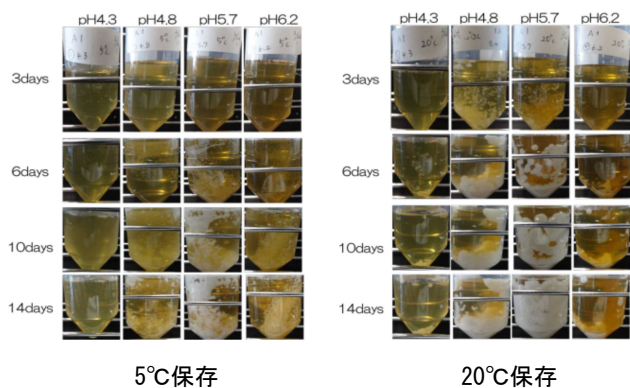



図1　pHの異なる濃縮液の保存試験結果

pH4.8 および 5.7 では、5 ℃保存において 6 日目から結晶化が始まり、14 日目には大部分が結晶化した。また、結晶化の速度は 5 ℃保存よりも 20 ℃保存の方が早く、保存 3 日目においてすでに結晶化が始まっていた。pH6.2 では、結晶化の速度は遅いものの 14 日目では結晶が大きくなっていることを確認した。一方、pH4.3 では保存温度にかかわらず 14 日目までほとんど結晶化が見られなかった。これらのことから、pH4.3 以上では低温保存の方が結晶化抑制に効果があること、さらに、pH4.3 まで下げた場合には保存温度にかかわらず結晶化が抑制できることがわかった。

３．４．Brixによる結晶化抑制効果

濃縮の程度の違いが結晶化に関係するかを調べるため、(有)仁井田本家製の糖化液を段階的に濃縮し、Brix の異なる 6 種類の濃縮液(Brix52~76)を調製した。これを保存試験(5 ℃)に供した結果を図 2 に示した。

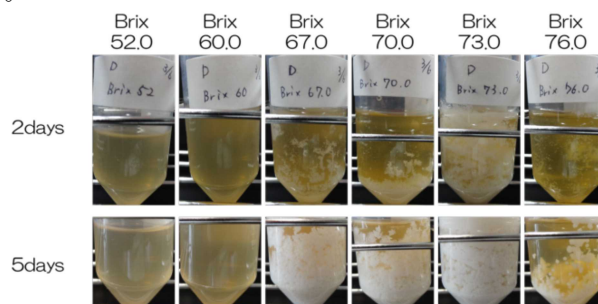



図2 Brixの異なる濃縮液の保存試験結果

原料とした糖化液は pH5.8 であり、３．２の結果から最も結晶化しやすい pH である。保存試験の結果、Brix67.0 を超えたところから著しい結晶化が確認された。しかし、結晶化が抑制された Brix52.0 および 60.0 の試料は粘度が低く、蜂蜜のような質感とはほど遠いものであった。糖化液を使用して濃縮する場合、少なくとも Brix70 以上でないと、蜂蜜様の質感は得られないと考えられた。

３．５．糖類等の添加による結晶化抑制効果

みりんにおいて、本研究と同様の析出現象(寒冷晶出)が生じることが知られており、多価アルコール、フルクトース(果糖)等を添加することでそれを抑制できるという報告がある [5]。

そこで、本研究における甘味料でも同様の効果を示すか調査するため、(有)仁井田本家製の糖化液にソルビトール、グリセリン、パノース、フルクトースを添加した加工糖化液を調製し、濃縮液を試作した。

各試験区の成分値を表 1 に、保存試験の結果を図 3 に示した。保存温度で比較すると、いずれの試験区においても 5 ℃の方が結晶化しにくい傾向が確認された。また、結晶化の抑制には添加濃度が高いほうが効

果的であり、フルクトースよりも、ソルビトールやグリセリンを添加したほうが顕著に抑制することがわかった。さらに、これまでに知見のない、パノースを添加した試験区においても 10%添加 5 ℃の保存においてソルビトール、グリセリン、フルクトースと同程度に結晶化を抑制していた。

結晶化と粘度、全糖濃度、直糖濃度、分解率の間にはほとんど相関が認められなかったが、直糖として定量される糖類の組成が結晶化に影響しているのではないかと考え、各試験区の糖組成割合を測定した。その結果と、組成割合から算出した甘味度を表 2 に示した。

表1　糖類添加試料の成分値

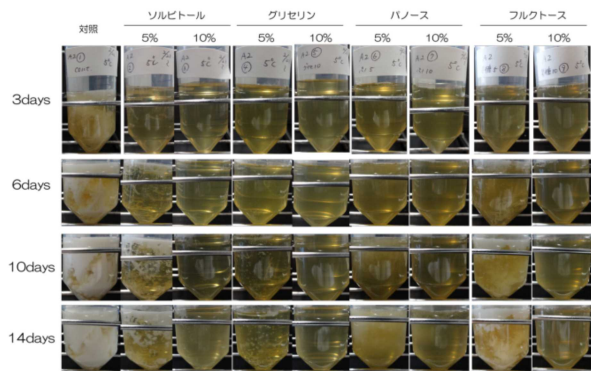
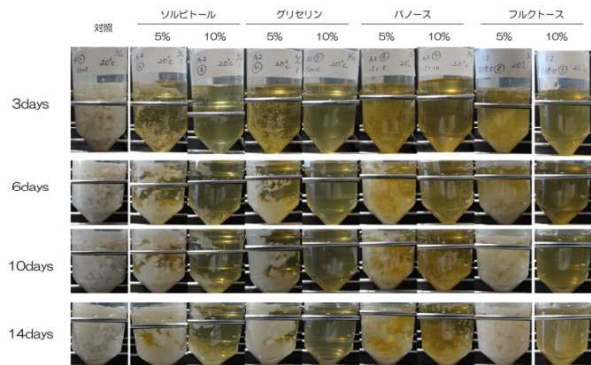
試験区	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
糖	対照	ソルビトール		グリセリン		パノース		フルクトース	
添加濃度		5%	10%	5%	10%	5%	10%	5%	10%
加工糖化液									
Brix	31.2	34.0	37.9	32.2	35.8	33.0	35.6	36.7	37.3
濃縮液									
Brix	80.7	79.2	79.8	80.1	78.7	81.7	82.8	81.8	84.8
粘度(P)	77.5	50.5	41.6	68.0	47.6	>100	>100	56.0	>100
全糖(%)	75.0	62.5	56.7	74.2	60.8	80.8	79.2	75.0	66.7
直糖(%)	67.0	55.0	51.0	60.0	58.0	70.0	64.0	65.0	59.0
直糖比率(%)	89.3	88.0	89.9	80.9	95.4	86.6	80.8	86.7	88.5
分解率(DE)(%)	67.0	55.0	51.0	60.0	58.0	70.0	64.0	65.0	59.0

(A) 5℃保存

(B) 20℃保存

図3　糖類添加濃縮液の保存試験結果

表2　糖類添加濃縮液の糖組成割合

試験区	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
糖	対照	ソルビトール		グリセリン		パノース		フルクトース	
添加濃度		5%	10%	5%	10%	5%	10%	5%	10%
濃縮液糖組成(%)									
グルコース	86.5	73.2	36.0	81.2	57.8	75.8	51.5	71.6	53.6
アラビノース	5.0	5.7	7.6	3.5	5.2	7.7	14.0	3.4	4.3
マルトース	-	-	25.0	-	-	-	-	-	-
ソルビトール	-	10.0	14.7	-	-	-	-	-	-
フルクトース	-	-	-	-	-	-	-	19.9	33.3
その他	8.5	11.1	16.7	15.3	36.9	16.4	34.5	5.0	8.8
甘味度	63.6	59.8	47.3	58.9	43.6	57.7	44.5	80.1	86.8

5 ℃で 14 日保存後に結晶化した①、②、④、⑥、⑧の試験区と結晶化が見られなかった③、⑤、⑦、⑨の試験区のグルコースの割合を比較すると、結晶化した試験区では 71.6~86.5%であるのに対し、結晶化しなかった試験区では 36.0~57.8%と低いことが確認された。このことから、結晶化には、全糖や直糖の濃度よりもグルコースの割合が影響している可能性が高いと考えられた。

３．６．トランスグルコシダーゼ添加による結晶化抑制効果

３．５の結果より、結晶化抑制には多価アルコールや果糖の添加が効果的であることが分かった。しかし、このような添加物は自然派食品嗜好者にとって好まれにくい。今回、パノース添加の試験区でも結晶化抑制に効果が見られたことから、糖化液中のオリゴ糖濃度を増加させることにより濃縮液の結晶化を抑制できる可能性が考えられた。

そこで、糖化時にトランスグルコシダーゼ製剤を添加し、糖化液中のオリゴ糖濃度の増加を試みた。

得られた糖化液は Brix80 以上に濃縮し、保存試験に供した。各試験区の成分値を表 3 に、保存試験の結果を図 4 に示した。

表3　酵素剤添加による濃縮液の成分値

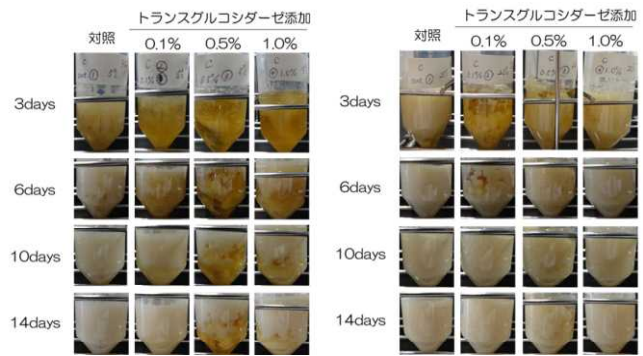
試験区	①	②	③	④
トランスグルコシダーゼ添加量	対照	0.1%	0.5%	1.0%
加工糖化液				
Brix	25.4	26.4	25.6	27.0
濃縮液				
Brix	83.7	83.1	80.2	83.1
粘度(P)	>100	>100	>100	>100
全糖(%)	72.5	72.5	72.5	72.5
直糖(%)	72.0	62.0	65.0	67.0
直糖比率(%)	99.3	85.5	89.7	92.4
分解率(DE)(%)	72.0	62.0	65.0	67.0

5℃保存　　20℃保存

図4　酵素剤添加による濃縮液の保存試験結果

酵素添加の試験区では、結晶化の速度に違いが見られるものの、保存後 14 日目においては試験区③以外では完全に結晶化してしまい、劇的な結晶化の改善には繋がらなかった。しかし、②~④の試験区において直糖比率に変化が見られたことから、各試験区の糖組

成割合の分析を行った。その結果と、組成割合から算出した甘味度を表 4 に示した。

表4　酵素剤添加濃縮液の糖組成割合

試験区	①	②	③	④
トランスグルコシダーゼ添加量	対照	0.1%	0.5%	1.0%
糖組成(%)				
グルコース	79.1	72.2	71.6	84.0
アラビノース	7.0	9.0	8.8	5.9
マルトース	-	-	-	-
その他	14.0	18.8	19.6	10.1
甘味度	59.5	56.0	55.4	62.3

いずれもグルコースの割合が 71.6~84.0%と高く、３．５の結果から、結晶化しやすい状態であった可能性が考えられた。３．５および３．６の対照試験区のグルコースの割合はそれぞれ 86.5%、79.1%と高く、結晶化しやすい割合になっている。このことから、結晶化を抑制するための方法のひとつとして、試料中に生成するグルコースの割合を減らすことが有効ではないかと考えられた。

また、①~③の試験区の糖組成割合を比較すると、酵素添加量に伴いグルコースの割合が減少し、その他の糖の割合が増加した。その他の糖には 3 糖以上のオリゴ糖などが含まれていることから、トランスグルコシダーゼによって生成したオリゴ糖である可能性が考えられた。

４．結言

糖化液のろ液を原料とする蜂蜜様の米麹甘味料について、結晶化抑制に関する条件検討を行った結果、低温保存によって結晶化が抑制されること、および pH を 4.3 まで下げることにより保存温度にかかわらず結晶化が抑制できることがわかった。

また、みりんにおける報告と同様、ソルビトール、グリセリン、果糖の添加によっても結晶化を抑制できることを確認した。また、本研究の結果、糖化液中のオリゴ糖量を増やすことによって、これらと同様の結晶化抑制効果があることが新たに示された。

すなわち、オリゴ糖含量の高い糖化液を製造し、濃縮することによって蜂蜜様の米麹甘味料の製造が可能になると考えられる。また、その際には pH を低く設定し、低温保存にすることで結晶化を抑制できるものと考えられる。

オリゴ糖含量が高い糖化液を、添加物を使用せずに製造するためには、使用する米麹の持つ糖化酵素のうち、グルコアミラーゼとトランスグルコシダーゼ(α-グルコシダーゼ)の酵素活性を調整する必要がある。

現在までに、トランスグルコシダーゼ(α-グルコシダーゼ)高生産麹菌を使用した、まろやかな甘味を有するイソマルトース含量の高い味噌の製造について報告がある[6]。また、黄麹菌(*Aspergillus oryzae*)に比べ、白麹菌(*Aspergillus usami* mut. *shiro-usami*)はグルコアミラーゼ活性が弱く、トランスグルコシダーゼ(α-グルコシダーゼ)が高いことが報告されている[7]。米麹の製造にこれらの麹菌を使用することにより、無添加でもオリゴ糖含量の高い糖化液の製造が可能ではないかと考えられる。

また、米麹汁中には、コウジビオースやニゲロース(サケビオース)といった、蜂蜜には含まれない米麹独特の糖類が存在する[8]。現在、これらの定量を試みており、その結果から米麹甘味料の特徴を見出したいと考えている。

本研究により、グルコース含量の高い調味料の結晶化を抑制する条件が明らかになった。今後、米麹を用いた調味料の開発に活かされ、様々な商品が展開されることが期待される。

参考文献

1)全国味噌技術会：“基準みそ分析法”、1995
2)鈴木繁男：“ブドウ糖工業の現状と今後の方針”、日本食品工業学会誌、11(2)、pp.26-42、1964
3)伊藤汎、小林幹彦、早川幸男：“食品と甘味料”、光琳、2008
4)氏原邦博ら：“黒糖製造における蔗汁 pH とショ糖結晶化の関係”、日作九支報、67、pp.50-51、2001
5)大屋敷春夫ら：“みりんの寒冷晶出とグルコース濃度との関係”、日本醸造協会誌、83(3)、pp.210-214、1988
6)渡辺隆幸ら：“α-グルコシダーゼ高生産麹菌を用いた米味噌のイソマルトース増加効果”、日本醸造協会誌、107(3)、pp.191-196、2012
7)小巻利章ら：“澱粉の酵素糖化に関する研究(第 5 報)”、澱粉工業学会誌、7 (3)、pp. 89-96、1959
8)麻生清：“清酒及び米麹汁中の糖類について”、日本醸造協會雑誌、53(11)、pp.854-859、1958

レーザー加工機によるゴム印蒔絵技術の確立

Establishment of painting techniques using Japanese lacquer and gold dust to use a rubber stamp that was created by the laser machine

会津若松技術支援センター産業工芸科　　出羽重遠　須藤靖典

震災・原発事故の影響で需要の低迷が一段と進む中、会津漆器産業の側面的な支えであったゴム印を彫る職人もほとんどいない状態で、漆器業界にとって大きな痛手となる事が予想されることから、レーザー加工機によるレーザー彫りと従来の手彫りとを比較・検討した結果、レーザー彫りで十分実用化が可能であることが確認できた。

Key　words:ゴム印、レーザー加工機、いっかけ漆(釦漆)、辺掻漆

１．緒言

会津塗の産地では、古くからの伝統技術を根幹としながら、その時々の先進的技術を取り入れ、商品開発を試みてきた。「吹き付け漆塗装」、「合成樹脂製素地」や「各種印刷技術」などは代表的なものである。

図1 会津塗産地の技術的流れのイメージ

印刷技術には孔版印刷(シルクスクリーン印刷等)、凹版印刷(パッド・タコ印刷等)や凸版印刷(ゴム印等)があり、スクリーン印刷では比較的平胆な部分の印刷に向き、パッド印刷では若干の凸凹や曲面の印刷に向き、ゴム印印刷は最も歴史が古く、原理の単純な印刷方式で、版の凸部分にインキを乗せて圧力をかけて転写するため、力強い輪郭のシャープな文字や模様を印刷することが可能である。このように、それぞれの版には特徴があり、単一の印刷方法または、複数の印刷方法を複合して、対象物の形状や蒔絵手法によって、効果的に使い分けが行われてきた。

このゴム印は、地元のハンコ職人に依頼して手彫り製作をしていたが、ハンコ屋さん本来の仕事である印鑑を手彫りで製作することがあまりなく、ほとんどが機械彫りになったことによって、手彫りの技術を持った職人さんが激減し、ゴム印蒔絵の存続が危ぶまれる結果になっている。

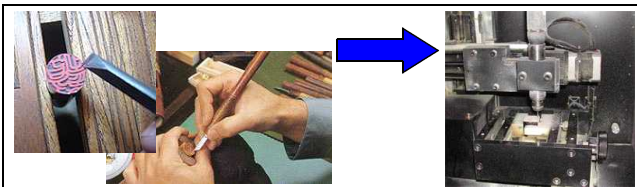



図2 印鑑の機械加工化が加速

そこで、当支援センターに設置されているレーザー加工機(WIN-LASER　M300-30)によるゴム印製作上の諸条件、印刷における漆、印刷方法等について検討し、実用可能であるかどうかの確認を実施した。

図3 レーザー加工機

２．研究内容

応募された企業(職人)は、ゴム印蒔絵を要所要所に効果的に使われていて、とりわけ勲章箱における文字ゴム印は最重要要素になっている。本研究における課題には、勲章箱に使われる頻度が多い「瑞寶雙光章」(瑞宝双光章)、「瑞寶單光章」(瑞宝単光章)の文字ゴム版を取り上げ、レーザー加工の諸条件、漆の調合、印刷方法の最適化を検討した。

２．１．文字データ作成

レーザー加工機稼働用データは、Adobe Illustrator を使い、モノクロ２階調(白黒画像)の画像を作成した。文字形状は勲章箱特有で基本的には篆書体のようであるが、見本に合わせて修正を行った。この文字の大きさは、幅 12mm、高さ 12~15mm で、線幅は 0.35mm と 0.5mm に設定した。当然、加工に使うデータは、左右反転したものを使い、加工を行った。

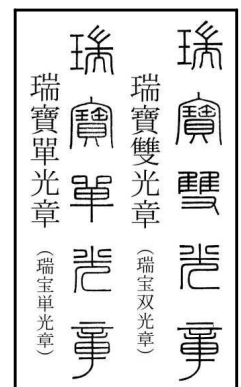



図4 勲章箱表示文字

２．２．ゴム印材の選択

ゴム印材に関しては、従来からハンコ屋さんで使用してきたもので十分満足な印字結果(蒔絵)が得られているのと同時に、入手が容易であることから二見印彫刻用ゴム板を用いて、レーザー加工の諸条件を検討す

ることにした。

２．３．レーザー加工試験

当センターに設置されているレーザー加工機は炭酸ガスレーザーによる出力 30W で、ゴム印のような加工には適合するものであるが、被加工素材に応じ、出力パワー(100%で 30W)と加工速度(100%で約 1,000mm/秒)の組み合わせ条件を設定する必要があり、いくつかの組み合わせによる適正値を検討した。また、細線をゴム印で印字する場合について、印面先端から彫り底まで同じ太さ(模様・文字幅)では腰がなく印刷時によれて、再現性が悪くなる。そこで、図 5 に示すように印面は細く、彫り底では太くなるショルダー彫りで、加工を行った。図 6 は加工条件を変えての加工状況で、図 7 は加工後のゴム印である。

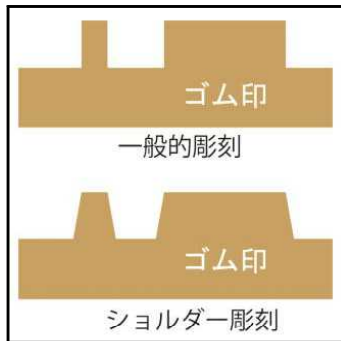



図5 彫刻の種類

図6 ﾚｰｻﾞｰ加工機による加工試験

図7 加工条件を変えてのゴム印

２．４．印刷における漆調合および印刷方法

２．４．１．漆調合

印刷用漆の調合については、いっかけ漆(釦漆)(会津特産漆)を主体に辺掻漆を若干添加し、弁柄を混入して作る。印字される塗装面の違いや季節(気候)によって粘度の調整も必要になる。

２．４．２．印刷方法

図 8 に示すとおり、印刷用漆を定盤(平板またはガラス板)上に、箆やローラーを使い薄く延ばし、その漆をゴム印に逆転写(付着)させた上で、対象物に圧着させて漆の転写(印字)を行う。

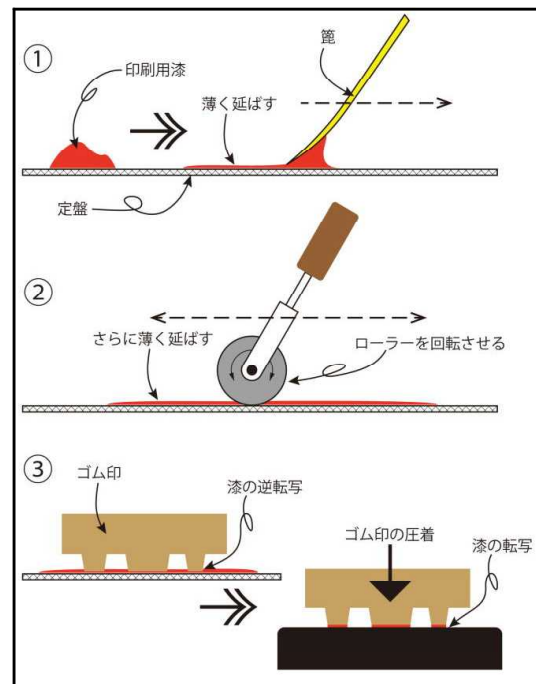



図8 ゴム印の印刷方法

３．結言

加工条件を変えてのゴム印加工を行い、漆による印字、金粉による蒔絵作業行程を実施したところ、データ作成時の文字の太さを 0.35mm に、レーザー加工時の出力パワーを 100%、加工速度を 13%に設定し、加工を行ったゴム印を使うことによって、より鮮明な印字による品質の高い蒔絵が再現されるという結果が得られた。

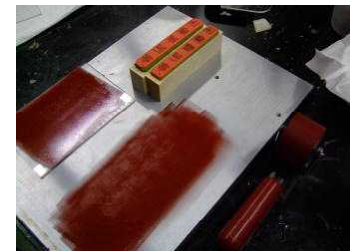



図9 印刷用漆の調合

図10 ガラス板への印字

図11 蒔絵処理の確認

参考文献

1)「WIN-LASER　M-CLASS 取扱説明書」、株式会社中沢商会、平成 11 年

地域伝統芸能大賞記念メダル制作

Commemorative medal production of local traditional arts Award

会津若松技術支援センター産業工芸科　出羽重遠　須藤靖典　宇野秀隆
蒔絵工房ほんだ　漆工房佐藤　林精器製造株式会社　株式会社原山織物工場
株式会社クラフト夢現　株式会社関美工堂

平成 24 年度地域伝統芸能全国大会福島大会表彰式で授与される地域伝統芸能大賞 「保存継承賞」「活用賞」「支援賞」並びに「地域伝統芸能特別賞」記念メダルは大会事務局の基本コンセプトをもとに県ハイテクプラザ会津若松技術支援センターがデザイン、設計及びプロデュースを担当し、東日本大震災とそれに続く原発事故の影響で大きなダメージを受けた福島県内各地(浜通り、中通り、会津地方)の企業が連携して制作を行った。

Key words:地域伝統芸能大賞、平蒔絵、平極蒔絵、消金蒔絵、色粉蒔絵、螺鈿

１．緒言

地域伝統芸能大賞は、多年にわたり、地域伝統芸能の活用を通じ観光又は商工業の振興に顕著な貢献をしたと認められる個人又は団体を表彰することにより、国民の地域伝統芸能の活用に対する認識を高めるとともに、個性豊かな地域社会の実現に寄与することを目的として、(財)地域伝統芸能活用センター (会長　中村徹)が、平成 5 年に創設し、実施しているものである。表彰の選考にあたっては、都道府県、民俗学者、観光関係団体、商工会議所、商工会等のほか、マスコミ関係者等から候補者を推薦していただき、「高円宮殿下記念地域伝統芸能賞等選考委員会」が選定する。

平成 24 年度は「高円宮殿下記念地域伝統芸能賞」、「地域伝統芸能大賞 保存継承賞」、「地域伝統芸能大賞 活用賞」、「地域伝統芸能大賞 支援賞」、「地域伝統芸能特別賞」を選定した。

受賞者への表彰式は平成 24 年 10 月 27 日(土)~28 日(日)に郡山市、会津若松市で開催の「ふるさとの祭り 2012 」において、執り行われた。

表彰式で授与される「地域伝統芸能大賞 各賞」並びに「地域伝統芸能特別賞」記念メダルは大会事務局の基本コンセプトをもとに県ハイテクプラザ会津若松技術支援センターがデザイン、設計及びプロデュースを担当し、東日本大震災とそれに続く原発事故の影響で大きなダメージを受けた福島県内各地(浜通り、中通り、会津地方)の企業が連携して制作に当たった。

２．制作内容

２．１．絵柄デザインコンセプト

福島県での開催なので、受賞者に対し「福島県らしさ」を感じてもらうことを最優先に考え、デザインコンセプトを構築した。伝統芸能大賞 3 賞については、自然豊で広大な福島県特有の気候風土により大きく 3 方部に分かれていることを反映し「浜通りの海」「中通りの川」「会津地方の山」を、特別賞については「福島県の花」をモチーフにデザインを行った。

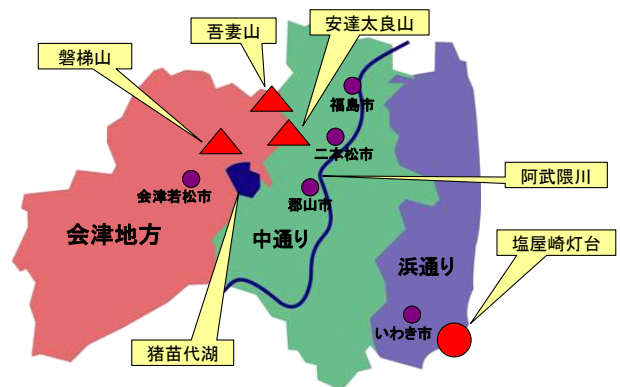



図1 福島県内の絵柄モチーフ場所

<地域伝統芸能大賞 保存継承賞>
小奴可地区芸能保存会(塩原の大山供養田植)

後継者育成に取り組む姿を、福島県の中通りを横断する阿武隈川を作り出す源流のごとく表現した。

<地域伝統芸能大賞 活用賞>
寺崎はねこ踊り保存会(寺崎はねこ踊)

保存会の活動は、浜通りの海のように広く大きな住民総参加型の祭へと発展していることから、太平洋をモチーフにした。

<地域伝統芸能大賞 支援賞>
植田倫吉氏(石見神楽蛇胴の製作)

石見神楽の魅力と勇敢さを引き出す蛇胴を作る技術は、会津の山のように誇り高いものであることから、磐梯山をモチーフにした。

<地域伝統芸能特別賞>
釜石虎舞保存連合会(岩手県釜石市　釜石虎舞)
行山流水戸辺鹿子躍保存会(宮城県南三陸町戸倉　行山流水戸辺鹿子躍)
請戸芸能保存会(福島県双葉郡浪江町請戸　請戸の田植踊)

被災した厳しい状況でも活動を再開し復興に向け

努力している姿を、高山帯など厳しい環境でも力強く育つ福島県の花「ネモトシャクナゲ」をモチーフとした。

２．２．メダル制作・スタッフ

- 総合プロデュース：福島県ハイテクプラザ会津若松技術支援センター産業工芸科　(株)関美工堂
- デザイン・設計：福島県ハイテクプラザ会津若松技術支援センター産業工芸科
- メダル中央部：蒔絵工房ほんだ、漆工房佐藤<デザインコンセプトによる絵柄を漆蒔絵技法によって表現>

- メダル枠：林精器製造(株)<ステンレス鋼のヘアライン仕上げ>

- メダルリボン(紐)：(株)原山織物工場<会津木綿>

- 収納箱：(株)クラフト夢現<メープル材木地呂塗り仕上げ>

- 総仕上げ：(株)関美工堂

２．３．メダル制作・デザイン設計

メダル枠の形状は、単純な円形を基調に、メダルリボン(紐)が通る部分は円形から自然につながる曲線の構成による台形とし、力強いフォルムとした。中央には、絵柄デザインコンセプトのとおり「浜通りの海」(いわき市豊間海岸から塩屋崎灯台越しに太平洋を望む情景)、「中通りの川」(阿武隈川の豊かな流れの向こうに緑豊かな樹木と安達太良山を望む情景)、「会津地方の山」(磐梯山と猪苗代湖の雄大な自然の中に白鳥が遊ぶ情景)、「ネモトシャクナゲ」(八重の花が重なり合い咲き乱れる花の向こうに吾妻山を望む情景)をデザインした。

図2 メダル形状デザイン

図3 絵柄デザイン

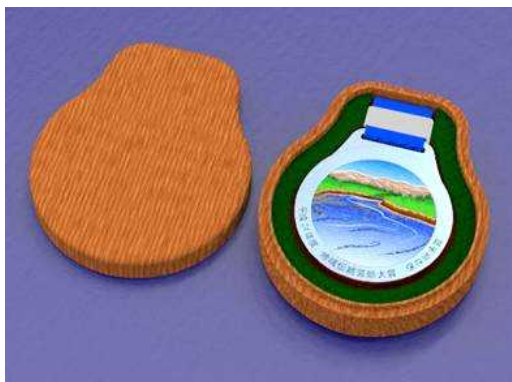



図4 収納外箱デザイン

2．４．メダル制作・技術

メダル中央部の絵柄については、「保存継承賞」「活用賞」「支援賞」3 賞は、平蒔絵、螺鈿、色粉蒔絵等の伝統技法で、「特別賞」は平極蒔絵、消金蒔絵、色粉蒔絵等の伝統蒔絵技術と最新の加飾技術を融合し制作した。メダル枠については、ステンレス材を用い、伝統的な職人の技と最先端デジタル技術を組み合わせた研磨技術を駆使して加工を行った。メダルリボン(紐)については、400 年の伝統の染め・織りによる会津木綿を賞・絵柄によって色合いを変えて使用した。収納箱については、メープル材を用いてメダル形状に合わせた形状を NC ルータ加工によって制作し、木地呂塗り仕上げとした。

2．５．メダル制作・完成

図5 完成した各賞のメダル

３．開催記念式典 ・表彰式

各賞受賞者は地域伝統芸能活用センター会長中村徹氏から表彰状が贈られ、次いで高円宮久子殿下から各賞のメダルが授与された。ステージバック中央のスクリーンには受賞団体の伝統芸能の紹介(写真)や授与されるメダルが大きく映し出された。

図6 受賞されたみなさん

図7 メダル授与風景

４.結言

今回行ったメダル制作は、優美で格調高いメダルができたことのみならず、異業種の技術を組み合わせてより大きな結果を生むことを実際にプロデュースできたことは、今後の業界指導等に大きく役立つものと思っている。

「ふくしまから はじめよう。」バックパネル制作

Production of the back panel for news releases that the slogan "future from Fukushima" is written

会津若松技術支援センター産業工芸科　　出羽重遠　須藤靖典

県庁会見用の「ふくしまから はじめよう。」バックパネルは、伝統技術である会津塗り蒔絵技法と県有特許(自動酸化重合型の漆塗料の製造方法(特許第 3001056 号)、光重合性インキ組成物およびその乾燥方法(特許第 3833202 号)の最新技術を融合させて制作したもので、小豆色と銀色の色合いに調合した色粉による様々な色の反射が見える梨子地塗りの上に「福島県」のロゴ、「ふくしまからはじめよう。」のロゴマークと福島県内 7 方部の祭り、郷土玩具、名所などの絵柄をデザインしたものを、それぞれ交互にレイアウトし、郷土色豊かな格調のあるバックパネルが実現しました。

Key words:自動酸化重合型の漆塗料の製造方法、光重合性インキ組成物およびその乾燥方法、梨子地塗り

１．緒言

震災から一年が経過する平成 24 年 3 月に、福島復興のシンボルであるスローガンとロゴマークを一新するのに合わせて県庁の知事会見等で使用しているバックパネルも変えるので、ハイテクプラザの技術を活かして制作できないかとの制作依頼が県庁広報課からあった。当時使っていたのは薄い樹脂シートにプリンターで絵柄をプリントし、厚い樹脂シートに貼った平坦なものであったので、県有特許の漆や塗装技術を使い、福島県らしいデザインを念頭に制作をすることにした。

図1「がんばろうふくしま！」バックパネル

２．制作内容

２．１．一次デザイン

基本的には、それまで使っていたパネルの横幅を半分にして「福島県ロゴ」と「スローガン／ロゴマーク」による市松模様を基本とし、スローガン／ロゴマークの両脇に福島県内の祭りや玩具から起こした図柄 4 点をレイアウトした一次デザイン提案を行った。

図2 ｽﾛｰｶﾞﾝ/ﾛｺﾞﾏｰｸの両脇に置く図柄

図3 一次デザイン

この結果、「ゴチャゴチャしてうるさく感じる」「パネル自体が目立ってしまう」等の意見が出された。

２．２．二次デザイン

一次デザインの結果を受けて、パネルサイズは従来の 726mm 又は 736mm×246mm の 36 枚構成で、絵柄はモノクロにして目立たない濃度にするなど考慮して二次デザインを行った。公開時期が平成 24 年 3 月で、

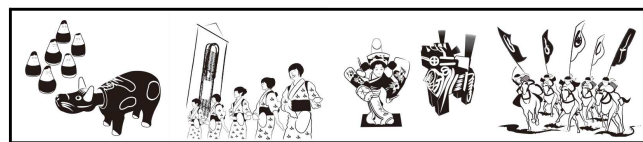



図4 図柄はモノクロ表現

ベースカラーは緑ということと、まだ新しいスローガン／ロゴマークが決まっていない状態であったので、従来のバックパネルに絵柄をレイアウトしたイメージ提案を行った。

図5 二次デザイン

この結果、絵柄について県内 7 行政地域に合わせた図柄をレイアウトしてほしいとの意見が出された。また、新しいスローガン／ロゴマークが公開間近にならないと決まらないので、平成 24 年 3 月の完成は無理であるとの判断があり、秋に向けてのデザインを検討することになった。

図6 7行政地域図

2．3．三次デザイン

二次デザインの結果を受けて、追加の三地域の絵柄とスローガン／ロゴマークの両側にレイアウトするため、もう一つの計四点の絵柄デザインを行った。

図7 7地域の絵柄

図8 新しいスローガン／ロゴマーク

会津地域の会津田島祇園祭、会津地域の赤べこ・起き上がり小坊師、県北地域の福島わらじまつり、県中地域の三春張り子人形・三春駒、県南地域の白河の関・白河だるま、いわき地域のじゃんがら念仏踊り、相双地域の相馬野馬追、景勝地の吾妻山・いわき豊間海岸・磐梯山の合計 8 点の絵柄を新しく決まったスローガン／ロゴマーク「ふくしまからはじめよう。」と合わせレイアウトを行った。

図9 最終的なデザイン

2．4．制作

漆や塗装技術を使う上で、従来のバックパネルで使用している樹脂シートを直接使うことはできないので、市松模様(726mm 又は 736mm×246mm)1 枚ごとの樹脂板 36 枚について、福島県ロゴが入るものを厚み 2mm にし、スローガン／ロゴマークが入るものを厚み 1mm に変えて使い、若干のでこぼこ感を出して、平坦にならないよう表情を付けた。ベースカラーは、秋の紅葉をイメージした小豆色とスローガン／ロゴマークが映える銀色とした。いずれも伝統技術である会津塗り蒔絵技法と県有特許の最新技術を融合させ、それぞれの色合いに調合した色粉による梨子地塗りの上に「福島県」のロゴ、「ふくしまからはじめよう。」のロゴマークと福島県内 7 方部の絵柄を配し、制作を行った。

図10 梨子地塗（小豆色）

図11 梨子地塗（銀色）

図12 設置したﾊﾞｯｸパネル

図13 会見風景

3．結言

ベース色の小豆色と銀色が照明によって様々な色の反射が見える梨子地塗りの上に、「福島県」のロゴと「ふくしまからはじめよう。」のロゴマークを乗せたことによって一段と映えて表現できた。また、福島県内 7 地域の祭り、郷土玩具、名所などの絵柄を配したことによって、郷土色豊かな格調のあるバックパネルが実現した。さらに、このバックパネルは平成 24 年 9 月から使用しているが、マスコミ等の評判が良いという結果である。

使用県有特許

特許第 3001056 号：自動酸化重合型の漆塗料の製造方法

特許第 3833202 号：光重合性インキ組成物およびその乾燥方法

用　語　解　説

マルチスケールＣＡＥによる製品開発手法の確立

微小部強度試験：標準的な試験片より小さい寸法での強度試験の総称で、1～5mmスケールの小型試験片を対象に通常の強度試験を行う方法と硬さ試験を応用する方法が考えられる。小型試験片を用いる場合は、曲げ試験が有望である。
鋳造製品や射出成形品、熱処理品などは、部位によって、強度特性が異なるため、一般的な試験では目的の強度評価をすることができない場合がある。

多結晶モデル：工業製品に用いる金属材料は、多結晶体であるが、この多結晶構造を直接、有限要素モデル化する技術。結晶粒径の影響などを考慮できる。

スパコンの産業利用：スパコンは、これまで学術利用がほとんどであったが、産業利用を促進しようという国家的方針が示されている。文部科学省では、社会的・学術的に大きな進歩が期待できる5つの「戦略分野」のひとつとして「次世代ものづくり」を取り上げている。ここでは、先端的要素技術の組み合わせで、性能評価・寿命予測まで含むものづくりの過程全体をシミュレーション主導で継ぎ目なく行う、新しいものづくり開発を提案している。これらは、本研究の狙いと一致するものである。

クラウド技術の利用提案：ＣＡＥ普及の最大の障壁は、導入コストや保守コストであることから、クラウド技術の利用が提案され始めている。解析需要の変動に対し、必要な時だけ、計算リソースを確保するなどのサービスが開始している。国内企業では、富士通が「ＴＣクラウド」「エンジニアリングクラウド」などの活発な事業展開をしている。
ものづくりを行う企業では、新規案件の立ち上げ時に解析需要が集中しやすいため、利用価値の高い技術であると見込まれる。

新素材利用技術研究会：ハイテクプラザでは、情報交換や技術力向上を目的に、県内企業をメンバーとする研究会事業を実施している。新素材利用技術研究会は、新素材の利用や材料分野の新しい技術をテーマとしている。中期ビジョンでは、共同開発の芽出しにつながりやすい場とするため、ハイテクプラザが保有する技術を活かした研究会活動を目指す方針を示している。

ＣＦＲＰの穴加工における工具・加工条件の検討（第２報）

ＣＦＲＰ：炭素繊維を強化材として使用した繊維強化プラスチック。軽くて高強度という特性から、航空機や自動車、ゴルフシャフトなどに使用されている。

クロスプリプレグ・ＵＤプリプレグ：プリプレグは、炭素繊維に樹脂を含浸させて半硬化させた中間材料のこと。炭素繊維で作った織物（ＣＦクロス）に樹脂を含浸させたクロスプリプレグと炭素繊維を一方向に引きそろえて含浸させたＵＤプリプレグがある。

層間剥離（デラミネーション）：繊維強化プラスチックなどの多層構造部材が、衝撃などにより層間で分離してしまう現象。

ＦＰＧＡを用いた制御システムの開発

ＦＰＧＡ：Field-Programmable Gate Arrayの略。回路をプログラムのように表記して構築することができるデバイス。デバイスの単価は高価ではあるが、開発コストを抑えることができ汎用性が高いことから近年利用する企業が増えている。

ＭＰＵ：Micro Processing Unitの略。コンピュータの心臓部に当たる半導体チップ。ＭＰＵの集まりをＣＰＵと呼んでいたが、現在ではＭＰＵもＣＰＵも同じ意味として用いられている。組込み関連ではＭＰＵを用いることが多いようである。

ＴＯＰＰＥＲＳ：Toyohashi OPen Platform for Embedded Real-time Systemsの略。ＩＴＲＯＮ仕様のＯＳ等を開発するプロジェクトの名称であり、このプロジェクトで開発されたＯＳをＴＯＰＰＥＲＳ仕様のＲＴＯＳと呼ぶ。

タスク：ＯＳから見た処理（プログラム）の実行単位。ＲＴＯＳでは複数タスクが同時に実行される。

軽くて使い易い放射線遮蔽材料の開発

微粒子コーティング法：結合剤を分散した液相中で、微粒子と有機材料(結晶性)を同時に浸漬すると経時的に微粒子が有機材料表面に固定されていくハイテクプラザのシーズ技術。

バックグラウンド：放射線測定の際の、測定対象以外から発生する放射線。

放射性セシウムの除染（物理的、化学的手法による分離・濃縮）方法の開発

放射性セシウム：放射線を出す能力(放射能)を持つ放射性物質の一種。東京電力福島第一原子力発電所事故では半減期が2年のセシウム134および半減期が30年と長いセシウム137が大量に放出された。

大谷石：栃木県宇都宮市北西部の大谷町付近で採掘される軽石凝灰岩の一種。柔らかく加工しやすいため、古くから壁や塀等の住宅用建材として利用されている。

浅部地中熱利用システムの開発

地中熱：太陽熱を起源とした地下200mより浅い地中の熱。地熱発電などに利用される地球深部のマグマ由来の熱とは区別される。

熱交換井：熱交換を行うための冷媒を循環させる井戸。

石炭灰の再生利用促進

ショットピーニング加工：金属製被加工材に無数の丸い球（ショット材）を高速度で衝突させる加工方法。ショット材には通常、鉄やセラミックス製の球形粒子が使用される。材料表面に衝突したときの大きな力と発熱により塑性変形と局部熱処理の作用を利用し、表面硬度の増加や耐疲労特性の向上など、さまざまな効果が期待される加工方法である。

電解加工廃液の再利用化技術の検討

キレート樹脂：特定の金属イオンと結合して環構造（キレート）を形成する樹脂。金属イオンの分離、回収に用いられる。

イオン交換樹脂：合成樹脂の一種で、分子内に交換されるイオンを放出する基を持っています。この固定イオンと溶液中のイオンの吸着の差を利用することによって、溶液に含まれた各イオンを分離することができる。

電解加工法：工具を－極、被加工物を＋極として間隙を隔ててセットし、間隙に電解液を流しながら直流電圧をかけることにより加工する手法。被加工物を溶かしながら加工するため、効率よく難加工材を加工することができる。

スラッジ：水中の浮遊物が沈殿してできた泥状の物質。汚泥とも言う。

簡易型転落・転倒警報装置の開発

3軸加速度センサ：XYZ軸の3方向の加速度を測定できるセンサ。XYZ軸の値は重力加速度の分力となるため、軸成分と重力加速度から傾き角を算出する。

ジャイロセンサ：角速度を検出するセンサ。角速度の積分値は角度となる。

材料科学的なアプローチによる厚板鍛造の高度シミュレーション技術の確立

厚板鍛造：板厚2-3mm以上の板素材を厚板と呼ぶ。薄板との対比で用いられる表現。厚板鍛造は、単に板鍛造と呼ばれることも多い。

板成形加工：薄板（概ね板厚2-3mm以下）を素材とする加工で、自動車のボディの加工が代表例。変形のタイプ別に、絞り、張り出し、曲げ、穴広げの4区分されることが多い。塑性加工の中では、ＣＡＥ利用技術などの技術蓄積が最も進んでいる分野である。

鍛造加工：棒材などバルク材（金属の塊）を素材とする加工で、変形のタイプ別に据込み、押し出しなどに区分される。板成形に比べて大変形となるのが一般的で、加工性を確保するため、高温下で加工する場合も多い。

ＣＡＥ（Computer Aided Engineering）：直訳すると、コンピュータ支援（援用）工学。現在ではより広い意味で、コンピュータ上に製品モデルを作成し、様々なシミュレーションをすることを指す。コンピュータシミュレーション、数値解析とほぼ同じ意味で用いられることが多い。

中性子回折：中性子線を線源とする回折技術で、結晶構造の解析などに利用される。材料工学分野では、高い透過能によりＸ線回折では得られない広範な領域の情報を得られるの点が特徴とされる。茨城県にある加速器施設Ｊ－ＰＡＲＣに中性子回折による構造解析装置が設置されている。

ＥＢＳＤ：試料表面で生じる電子線後方散乱回折により、試料の結晶系や結晶方位に関する情報を得る技術。ＳＥＭと組合わせて利用され、微小領域の結晶系や結晶方位の分布情報（ヒストグラム）が得られることから、研究分野で利用が広まっている。

マルチスケール：科学技術一般に、対象とする現象をどのような寸法（スケール）で捉えるかが重要となる。近年、複数のスケールの解析、シミュレーションを連携して高度化を図ろうとする取り組みが各分野で増え、「マルチスケール（的手法）」との表現が用いられている。

本研究では、この点を強調するため、ナノ、ミクロ、マクロ スケールとの表現を用いる。目安は以下の通りである。

ナノ…原子、分子のスケールで、概ね1nm(10の9乗分の1メートル)

ミクロ…金属の結晶粒構造のスケールで、概ね1μm(10の6乗分の1メートル)

マクロ…成形品の形状を表現するスケールで、概ね1mm(10の3乗分の1メートル)

バーチャル試作：実際の金型製作や試作を行わずに、コンピュータ上で仮想的に試作を行う考え方。一般的なものづくりでは、量産の前に金型や工程が妥当かどうか確認する目的で

数回の試作を繰り返すのが通常であるが、時間とコストがかかることが、かねてより問題視されている。バーチャル試作を行うには、前提として解析の精度が確保されている必要がある。

バーチャル試作を行う場合、ＣＡＥ解析を行う手間により前工程での負担が増えるが、後工程の無駄を排除することで、工程全体としての効率化が狙えると言われる。この考えは「フロント・ローディング」と呼ばれるもので、ＣＡＥ利用のメリットを論じる際に持ち出されることが多い。

限界パラメータ：成形の限界や不良の発生のを定量的に判定するパラメータ。ＣＡＥ解析でアウトプットされる変位、応力、ひずみ、温度などの情報を基に、不良現象のメカニズムを踏まえた理論式により算出される。本研究では、素材時点が0、不良発生を1とする0～1の数値となるように変換する。

太径締結部品のミクロ加工制御技術の確立

焼入れ性：焼入れの成否は、マルテンサイト変態が起こるかどうかで決まるが、これには、一定以上の冷却速度が必要であるため、径が大きい部品では、表面では焼きが入るのに対し、中心では冷却速度不足で焼きが入らない。焼きの入りやすさは、元素組成により変わるため、その特性を「焼入れ性」と呼び、焼入れ深さなどにより表現する。その判断は、組織、硬さにより、50%マルテンサイトを基準とする場合と完全焼入れを基準とする場合がある。

元素戦略：元素戦略プロジェクトは、希少元素や有害元素を使うことなく、高い機能をもった物質・材料を開発することを目的とする国家的プロジェクトで、文部科学省と経済産業省が連携して事業化している。科学技術基本計画においては、「資源問題解決の決定打となる希少資源・不足資源代替材料革新技術」に関する研究開発が掲げられている。

鍛造-熱処理一体ＣＡＥ：近年、特定のものづくりに特化した「鍛造ＣＡＥ」、「熱処理ＣＡＥ」などが利用されている。従来、これらは別々のものとして発展してきた。鍛造-熱処理一体ＣＡＥ」技術は、両者を一体化し、一続きの解析として行う技術である。

実際の工業製品では、前工程、あるいは素材から加工履歴を引き継ぐため、鍛造開始の時点で、部位ごとに状態や特性が異なる。従来のＣＡＥではこの点を無視して計算したため、解析精度が悪かった。これに対し、数年前から、一体化して利用する提案がなされ、その精度の高さから急激に普及が広がっている。このようなアイデアは、「全工程解析」と呼ばれている。

制御鍛造：広い意味では組織制御的な狙いを持つ鍛造技術の総称として用いる。ここでは狭い意味で、熱間鍛造をベースとし、通常よりやや低温で加工を行う処理を指す。微細化されたフェライト、パーライト組織を得ることを狙いとし、強度レベルは600-800MPa程度が目安である。主に、自動車分野の軸部品、足回り部品など、強度、じん性への要求が高いが、同時に複雑形状を得るための加工性も要求される製品への適用が進んでいる。

ホットプレス：ホットプレスは、薄板成形分野における超ハイテン鋼の代替として生まれた技術。鋼板を高温に加熱することで加工性を確保した上で、プレス下死点で、金型をワークとの接触を保持しながら数秒から十数秒停止することで、金型による急冷により、焼入れを行う処理である。ホットスタンプ、ダイクエンチと呼ぶこともある。

狙いとするのはマルテンサイト組織で強度は1200-1500MPa、伸びは2-5%ほどである。主に、自動車の車体部品に利用され、軽量化による燃費向上と車体衝突時の衝撃吸収能の両立が要求される。強度1000MPaを越すような超ハイテンでは、スプリングバックにより成形性が著しく低下する点や、グローバル展開時の材料入手の困難さが課題となっている。この解決のために提案されたのが、ホットプレスである。素材の段階では中程度の強度、伸びで、焼入れ性の良い組成の鋼材を利用して、加工後の上記の特性を確保するものである。その後の熱処理は行わないことが通常だが、焼き戻し処理をしたり、さらに冷却時に等温

変態を行うオーステンパ処理を行うなどの応用研究も広がっている。

スマートフォンを活用した道路状況センシングとその局所的情報交換のための車車間通信の研究開発（第２報）

Bluetooth：2.45GHz帯域を利用するデジタル機器用の近距離無線通信規格(ＩＥＥＥ802.15.1)の一つ。電波出力から、クラス1、クラス2、クラス3と分けられ、到達距離がそれぞれ100m、10m、1mとなっている。スマートフォンに登載のBluetoothデバイスはクラス1でも、到達距離は10mに絞られたデバイスになっていることが多い。

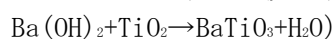
ソーシャル･ネットワーキング･サービス：社会的ネットワークをインターネット上で構築するサービスのこと。社会的ネットワークとは、ここでは、多くの車両が路上走行中に発した車両のつぶやきをデータベースに登録することで、道路の場所、時間帯、季節などによる関係性を抽出し利用できる構成のことである。

水溶性チタン酸バリウム前駆体を用いた高性能ＰＴＣサーミスタ用原料の開発

ＰＴＣサーミスタ（Positive Temperature Coefficient（＝正の温度係数））：チタン酸バリウムにキャリアをドープし半導体化させたものは室温付近では比較的低い電気抵抗を示すが、キュリー温度付近（約130℃）で急激に電気抵抗が増大する。この性質を利用して過電流防止素子やセラミックスヒーターなどに用いられる。セラミックスＰＴＣの他にポリマーに導電性フィラーを加えたポリマーＰＴＣも存在する。

チタン酸バリウム：化学式$BaTiO_3$で表されるペロブスカイト型構造を有するセラミックス。高い比誘電率を有することからコンデンサをはじめとする電子部品の原料として用いられる。

シュウ酸塩法：金属イオンを含む水溶液にシュウ酸を添加した時に生じる金属シュウ酸塩の沈殿を加熱分解してセラミックスを得る方法。チタンとバリウムの場合はシュウ酸バリウムチタニル（$BaTiO(C_2O_4)_2 \cdot 4H_2O$）が沈殿として生じる。

水熱法：オートクレーブ（圧力釜）を用いて高温・高圧下で反応させる方法。
チタンとバリウムの反応例は以下のとおり。
$Ba(OH)_2+TiO_2 \rightarrow BaTiO_3+H_2O$)

1）K.Iwase et al. *J.Sol-Gel.Sci.Technol*. 2012, 64(1), p.170-177.

ＬＮＧタンク内巨大構造物への疲労強度設計・強度保証技術の適用

ＬＮＧ：液化天然ガスの略称。天然ガスは、メタンを主成分とする。常温では気体であるが-162℃以下に冷却すると液化し、体積は気体の1/600となることから、輸送や貯蔵を目的に液化される。原発事故以降、世界的に需要が高まっており、最近注目されるシェールガスも、存在状態が異なるだけで、同じ組成のガスであり、長距離輸送される場合はＬＮＧとなる。

強度設計：製品の強度面の設計を行うことで、具体的には、製品に負荷される応力と使用される材料の強度を見比べ、適切な安全余裕度があるか確認するプロセスを指す。製品設計というと製品の形状や機能を決めるのに対し、強度設計は特に安全性を確保するプロセスと言える。

マルチスケールＣＡＥ：複数のスケールのシミュレーションを連携する手法で、構造体への応用に関しては、船舶分野で比較的古くから利用されている。船舶構造体は非常に巨大で

複雑であるため、詳細な構造を簡易化した全体モデルで解析を行った後に、その結果を詳細モデルに受け渡す手法が一般化している。現在では、電子部品の実装部、基板構造への応用が盛んとなっている。また、材料科学分野ではミクロ構造への適用が進んでいる。

ひずみ：ひずみεは物体の変形の程度を表すパラメータ。元寸法Lと増減寸法ΔLの比（ΔL／L）で計算される。単位のない無次元数だが、通常、10の6乗分の1 ひずみを「με」と表記し、マイクロストレインと呼ぶ。

疲労試験：1回の負荷では壊れない小さな負荷であっても、繰り返し負荷されると生じる破壊現象を疲労破壊と呼び、長期間の安全を考える場合、重要である。この特性を調べるために実施されるのが、疲労試験である。一般の金属材料であれば、単一のサンプルに最大10の7乗回までの負荷が必要であることや、特性を表現するＳ−Ｎ曲線を得るには、十数本のサンプルを必要とするため、数週間以上の期間がかかることが多い。

実大試験：実製品の同じ大きさのサンプルを用いた試験のこと。構造物全体ではなく、一部のみの試験を指すことが多い。

加工一般に、特に溶接や熱処理など温度変化がからむ工程は、形状や大きさを変えたサンプルでは出来上がりの組織や特性が異なるため、正しい評価ができない点が問題視されることから、実大試験の必要性が高まる。

材料強度学：材料の強度に関する学問。特に、金属材料の組織学独特な知識である結晶構造や転位などと材料強度の関連性を知ることができるのが特徴と言える。ものづくり的な観点でいえば、機械設計者に不足しがちな知識を補うことができる点が重要である。

破壊力学：破壊の発生に関する学問。機械設計に利用される材料力学が、亀裂や欠陥のない理想的な材料を対象にするのに対し、破壊力学は亀裂を前提とした応力場を考えるため、破壊に関してはより正確な情報を得ることができる。特に、脆性破壊、疲労現象に関しては、技術蓄積が進んでいる。応力拡大係数、亀裂開口変位、J積分など独特のパラメータを用いるため、材料力学と比べると技術的な難易度は高いと言える。

局所ひずみ基準：ここで基準とよんでいるのは、強度設計の時にどのパラメータを基準とするかを表現したもので、通常利用される「公称応力」は、単純な材料力学式により、平均的な値を計算するため、複雑な形状、複雑な応力状態では、その精度が劣る。「局所ひずみ」は、破壊する場所をピンポイントで狙って測定するため、精度が高い。ひずみゲージで測定することが多く、1㎜長のものが利用しやすい。

生体分子のセンシングデバイスへ応用可能なマイクロ流路用金型の作製技術開発

マイクロ流路デバイス：従来ビーカー等を用いて行っていた化学分析等を、幅数十～数百μm、深さ数十μmの微小な溝を用いて行うデバイス。微小溝を用いることで、試薬の量を削減でき、反応時間も短くできるメリットがある。

ポリジメチルシロキサン（ＰＤＭＳ）：シロキ酸ポリマーの一種。無色透明で、可視領域の吸収が小さい、自己吸着性という特徴を有している。

ストライクめっき：素地の不働態皮膜を除去、活性化しめっきの密着を良くするために用いるめっき。今回用いためっき浴の組成は、塩化ニッケル（240g/l）、35%塩酸（120g/l）、水（残）。

有色光重合性含漆共重合精製物を応用した製品開発とその耐久性について

夜桜蒔絵、溜塗、玉虫塗、白檀塗：漆を使い、金箔・金箔等を下貼りした後に漆を塗る変わり塗り工法。

ＬＰＳ計測のための微小流路基板及び電気化学セルの開発

グラム陰性細菌：グラム染色（細菌を分類する手法）により紫色に染まらず、赤や桃色に見える細菌。大腸菌、サルモネラなどが含まれる。

リムルス試験：カブトガニの血球抽出液とＬＰＳの特異的な凝固現象を利用し、ＬＰＳ濃度−凝固時間の相関性より定量する方法。

ポリジメチルシロキサン（ＰＤＭＳ）：シロキ酸ポリマーの一種です。無色透明で、可視領域の吸収が小さい、自己吸着性という特徴を有している。

ネットワークオンチップ構成における高位合成に関する研究

ネットワークオンチップ（ＮｏＣ）：メニーコアプロセッサ間の通信を共通バス方式ではなく、簡易ネットワークにおるパケット通信で実現したシステムのこと。

ＲＴＯＳ（Real-time operating system）：リアルタイムシステムにおけるアプリケーションのために開発されたオペレーティングシステムのこと。

プラットフォーム：あるソフトウェアやハードウェアを動作させるために必要な基盤となるハードウェアやＯＳ、ミドルウェアのこと。

コア：マイクロプロセッサの中核部分で、演算処理を行うための論理回路などが実装されているところ。

タスク：ＯＳから見た処理（プログラム）の実行単位。ＲＴＯＳでは複数タスクが同時に実行される。

高位合成：設計ツール等で開発されたモデルデータを、Ｃ言語ソースコードに変換し、タスク分割や優先度決定を自動的に行う手法のこと。

ＦＰＧＡ：Field-Programmable Gate Arrayの略。回路をプログラムのように表記して構築することができるデバイス。デバイスの単価は高価ではあるが、開発コストを抑えることができ汎用性が高いことから近年利用する企業が増えている。

ＴＯＰＰＥＲＳ/ＪＳＰ：ＴＯＰＰＥＲＳプロジェクトからオープンソースで公開されているμＩＴＲＯＮ4.0仕様ＯＳ。

ディペンダブル：信頼性の高いシステムのこと。ここでは、たとえ一部が機能しなくなっても残りの部分でうまく動作するといった自己修復的な動作をいう。

座標測定機のトレーサビリティー維持に関する研究

ステップゲージ：基準面となる基準ブロックと複数の測定ブロックが直線状・櫛刃状に配置されており、複数の検査用寸法が参照できるゲージ。

風評被害に伴う漆器の高品質化への改良研究

木地堅め剤（ストップシーラー）：2液型ウレタン系木固め剤

若年齢層に提案できる漆器製品の開発

付香：香りのない素材に香りを付けること。
パッド印刷：タコ印刷とも呼ばれる。凹凸のある形状に名入れ及び装飾を施す際の印刷方法。

レーザー加工機によるゴム印蒔絵技術の確立

勲章箱：勲章を入れる黒漆塗りの箱で、表面に勲章の名称が金蒔絵文字で付けられたもの。勲章には、瑞宝章の他に旭日章、菊花章、宝冠章などがある。
いっかけ漆：漆の精製時になやしの工程を長時間することで粘りのある漆に調整したもの。漆器の合口や縁に金粉を蒔く時に塗ったり、金箔を貼る時などにも使用する。

地域伝統芸能大賞記念メダル製作

地域伝統芸能大賞：多年にわたり、地域伝統芸能の活用を通じ観光又は商工業の振興に顕著な貢献をしたと認められる個人又は団体を表彰することにより、国民の地域伝統芸能の活用に対する認識を高めるとともに、個性豊かな地域社会の実現に寄与することを目的として、(財)地域伝統芸能活用センターが、平成5年に創設し、実施しているもの。表彰の選考にあたっては、都道府県、民俗学者、観光関係団体、商工会議所、商工会等のほか、マスコミ関係者等から候補者を推薦していただき、「高円宮殿下記念地域伝統芸能賞等選考委員会」が選定する。平成24年度は「高円宮殿下記念地域伝統芸能賞」、「地域伝統芸能大賞 保存継承賞」、「地域伝統芸能大賞 活用賞」、「地域伝統芸能大賞 支援賞」、「地域伝統芸能特別賞」を選定した。
平蒔絵：漆で文様を描き、金銀粉を蒔いた後に文様の部分だけに摺り漆をして研磨したもの。
螺鈿：貝の真珠質の部分を一定の厚さにそろえ、文様の形に切って漆塗面にはめこんだり、はりつけたりする技法。
色粉蒔絵：錫粉や朱・青漆粉などを、漆で描いた文様に蒔いたもの。
平極蒔絵：平極粉を用いた蒔絵で、漆で模様を描いた上に、平極粉を蒔きつけ、乾燥後、摺漆をし、砥の粉をつけて磨いたもの。
消金蒔絵：金箔を粉末にした消金粉を用いた蒔絵で、漆で模様を描いた上に、消金粉を蒔きつけたもの。

「ふくしまから はじめよう。」バックパネル製作

梨子地塗り：本来、平目粉を精製した梨地粉を蒔き、透明度を高くした梨地漆をかけ、梨の肌のようにしたものですが、バックパネルについては、光重合性インキの技術を使い、強度・耐候性に優れたメタリック質の塗装塗膜になっている。
自動酸化重合型の漆塗料の製造方法（特許第3001056号）：この技術を使ったものを会津色譜漆といい、適切な温・湿度環境でないと乾燥（硬化）しない漆を自然環境（温・湿度管理無し）で乾燥（硬化）するよう改質処理を施した漆および製造方法のこと。
光重合性インキ組成物およびその乾燥方法（特許第3833202号）：従来のＵＶインキでは蒔絵用の金箔、金粉などの金属粉を蒔き付けることが不可能でしたが、この光重合性インキを使用することで、熟練が必要である粉や箔を使った蒔絵が製作できる。

福島県ハイテクプラザ試験研究報告

平成２４年度（２０１２年度）

平成２５年９月発行

福島県ハイテクプラザ
〒963-0215 郡山市待池台一丁目１２番地
代　　　　　表　０２４－９５９－１７４１
企　画　管　理　科　０２４－９５９－１７３６
産　学　連　携　科　０２４－９５９－１７４１
工　業　材　料　科　０２４－９５９－１７３７
生　産　・　加　工　科　０２４－９５９－１７３８
プロジェクト研究科　０２４－９５９－１７３９
Ｆ　　Ａ　　Ｘ　０２４－９５９－１７６１

福島県ハイテクプラザ福島技術支援センター
〒960-2154　福島市佐倉下字附ノ川１－３
代　　　　　表　０２４－５９３－１１２１
繊　維　・　材　料　科　０２４－５９３－１１２２
Ｆ　　Ａ　　Ｘ　０２４－５９３－１１２５

福島県ハイテクプラザ会津若松技術支援センター
〒965-0006　会津若松市一箕町大字鶴賀字下柳原８８－１
代　　　　　表　０２４２－３９－２１００
醸　造　・　食　品　科　０２４２－３９－２９７６
産　業　工　芸　科　０２４２－３９－２９７８
Ｆ　　Ａ　　Ｘ　０２４２－３９－０３３５

福島県ハイテクプラザいわき技術支援センター
〒972-8312　いわき市常磐下船尾町字杭出作２３－３２
機　械　・　材　料　科　０２４６－４４－１４７５（代表）
Ｆ　　Ａ　　Ｘ　０２４６－４３－６９５８

編集
福島県ハイテクプラザ　企画管理科
URL http://www4.pref.fukushima.jp/hightech/
E-mail hightech-info@pref.fukushima.lg.jp